

**FABIANI DAS DORES ABATI MIRANDA**

**MONITORAMENTO TOPOGRÁFICO EM TEMPO-REAL COM A UTILIZAÇÃO DE  
UM SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO**

**CURITIBA  
2012**

FABIANI DAS DORES ABATI MIRANDA

MONITORAMENTO TOPOGRÁFICO EM TEMPO-REAL COM A UTILIZAÇÃO DE  
UM SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO.

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em  
Ciências Geodésicas da Universidade Federal do  
Paraná, como requisito parcial à obtenção do  
Título de Doutor em Ciências Geodésicas.

Orientador Prof. Dr. Luís A. Koenig Veiga

CURITIBA  
2012

Miranda, Fabiani das Dores Abati

Monitoramento topográfico em tempo-real com a utilização de um sistema semi-automatizado / Fabiani das Dores Abati Miranda. – Curitiba, 2012.

207 f.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

Orientador: Luís A. Koenig Veiga

1. Geodésia - Monitoramento topográfico. I. Veiga, Luís Augusto Koenig. II. Título.

CDD 526.1

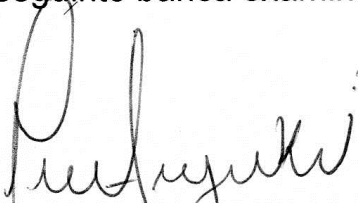
## TERMO DE APROVAÇÃO

FABIANI DAS DORES ABATI MIRANDA


### "MONITORAMENTO TOPOGRÁFICO EM TEMPO-REAL COM A UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO

Tese nº 78 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

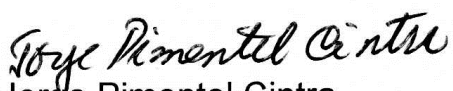
Orientador:




Prof. Dr. Luís Augusto Koenig Veiga  
Departamento de Geomática, UFPR




Prof. Dr. Dalto Domingos Rodrigues  
Universidade Federal de Viçosa, UFV



Prof. Dr. Jorge Pimentel Cintra  
Universidade de São Paulo, USP



Prof. Dr. Hugo Vieira Neto  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR



Prof. Dr. Carlos Aurélio Nadal  
Departamento de Geomática, UFPR



Prof. Dr. Pedro Luis Faggion  
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 27 de fevereiro de 2012.

## DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais, João (*in memoriam*)  
e Ana, pelo amor, atenção, apoio e incentivo  
que sempre me foram dados.  
Aos meus irmãos Luiz Fernando e Franciely.

## EPÍGRAFE

O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos.

[ELLEANOR ROOSEVELT]

## **AGRADECIMENTOS**

Nada na vida conquistamos sozinhos... e, a realização desta Tese envolveu a participação de muitas pessoas queridas, que contribuíram com fatias valiosas de conhecimento e generosidade. A todos vocês deixo aqui o meu agradecimento sincero.

Ao meu orientador, prof. Dr. Luís A. Koenig Veiga, que esteve comigo desde o início da minha formação, orientando-me com segurança, apoiando e incentivando-me sempre, mestre de quem tenho orgulho e profunda admiração. Obrigada pela oportunidade oferecida, pela orientação e principalmente pelo bom convívio nestes anos de trabalho.

Ao Prof. Dr. Pedro L. Faggion e Prof. Dr. Sílvio Rogério C. de Freitas pela cordialidade e atenção que sempre me foram dispensadas.

Aos demais professores do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, pelo incentivo, sugestões e principalmente discussões, as quais desafiaram meus conhecimentos e me incentivaram a estudar cada vez mais.

A Universidade Federal do Paraná, através do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - CPGCG, por colocar a disposição seus laboratórios e instalações.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo incentivo e apoio para a elaboração deste trabalho.

Aos colegas Mosar Faria Botelho e André Ponzoni pelo valioso auxílio na implementação dos programas, esclarecendo minhas dúvidas, mostrando-me alternativas de programação.

Aos meus amigos queridos por toda paciência, carinho, companheirismo, apoio permanente, pela amizade e presença nos momentos mais difíceis e nos mais felizes no decorrer destes anos.

A todos aqueles colegas e amigos que direta e indiretamente contribuíram para a realização desta Tese.

A família Lins Fuentes Araujo, em especial a Vanessa, pela amizade, carinho, pela preocupação e ajuda que me foi dada no decorrer de todos esses anos.

Ao Fernando do Rêgo Barros Filho e sua família pelo apoio e carinho que sempre me foram dispensados.

A minha mãe Ana, ao meu pai João (*in memoriam*) e aos meus irmãos Luiz Fernando e Franciely pelo carinho, apoio, dedicação, incentivo permanente e por estarem, apesar da distância, sempre presentes ao longo desta caminhada.

A Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar o caminho nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.



## RESUMO

O monitoramento de estruturas por meio de técnicas geodésicas tem como finalidade a determinação de coordenadas de pontos em diferentes épocas, servindo assim, como subsídio a diversos profissionais para o estudo e acompanhamento do comportamento do objeto monitorado, discretizado por estes pontos. Isto é feito não somente após problemas ou colapsos, mas também como um procedimento rotineiro, voltado para este acompanhamento. Tendo em vista a importância do tema, buscaram-se novas metodologias e técnicas de medição, equipamentos mais modernos com funções para otimizar o trabalho em campo, integração de dados e, a automação de diferentes etapas envolvidas nos trabalhos, desde a automação dos instrumentos, até o registro, processamento e análise de dados, sempre com o intuito de se detectar e interpretar resultados de forma rápida e precisa. Dentro desse contexto, foi desenvolvido um sistema semi-automatizado, baseado na utilização de estações totais, que será empregado como apoio ao monitoramento topográfico, constituindo-se de um sistema de suporte à decisão. A característica de ser semi-automatizado deve-se a disponibilidade de utilização do sistema com estações totais não robotizadas. Seu objetivo é ser capaz de realizar uma análise das variações das coordenadas medidas no objeto que sofre deslocamento em tempo real, permitindo assim ter respostas no ato da medição, em situações onde não é possível esperar o pós-processamento dos dados. Para tanto, foi implementado um sistema que engloba técnicas de posicionamento, equipamentos, e rotinas para a coleta, processamento, análise e representação gráfica dos resultados. Foram realizados estudos para avaliar quais metodologias seriam empregadas na coleta de dados. Optou-se pelo Método de Recessão, no que diz respeito ao posicionamento do instrumento de medição e pelo Método de Irradiação para a coleta dos pontos-objeto. Testes estatísticos também foram implementados com vistas a auxiliar na detecção e eliminação de erros grosseiros, bem como na avaliação e comparação das séries temporais. Neste sistema pode-se ainda optar pelo ajustamento dos dados observados. Experimentos de validação do sistema foram realizados e o mesmo apresentou-se viável para a utilização no monitoramento topográfico, possibilitando a repetibilidade das observações e análise em tempo real dos resultados.

Palavras-chave: Sistema semi-automatizado, monitoramento topográfico, estações totais.

## **ABSTRACT**

The monitoring of structures by means of geodetic techniques aims to determine the coordinates of the points at different times, which serves as a support for various professionals to study and monitor the behavior of the monitored object discretized by these points. This is done not only after the occurrence of problems or crashes, but also as a routine procedure toward this monitoring. Given the importance of the issue, one seeks new methods and measurement techniques, latest equipment with features to optimize the field work, data integration and automation of different steps involved in the work, since the automation of instruments until the recording, processing and analysis of data, always with the aim of detecting and interpreting results quickly and accurately. Within this context, it was developed a semi-automated system, based on the use of total station, which will be used as a support for topographic monitoring, being a decision support system. The characteristic of being semi-automated is due to the availability of the use of the system with non-robotic total stations. The goal is to be able to perform an analysis of the variations of coordinates measured on the object undergoes displacement in real time, allowing the answers achievement at the time of measurement, for situations where one can not wait for the post-processing of data. To this end, it was implemented a system that includes positioning techniques, equipment, and routines for collecting, processing, analysing and doing graphical representation of results. Studies were undertaken to assess which methods would be employed in data collection. It was chosen the Method of Resection for the positioning of the measuring instrument and the Irradiation Method for the collection of the object points. Statistical tests were also implemented in order to help detect and eliminate gross errors, as well as in the evaluation and comparison of time series. In this system one can also opt for the adjustment of the observed data. System validation experiments were performed and the results demonstrates the system feasibility for use in topographic monitoring, allowing the repeatability of observations and real-time analysis of the results.

**Keywords:** Semi-automated System, topographic monitoring, total stations.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	DESABAMENTO OCORRIDO NA OBRA DA LINHA 4 DO METRO EM SP.....	22
FIGURA 2	DESLIZAMENTO QUE ATINGIU A ENCOSTA DO TÚNEL REBOUÇAS NO RJ .....	22
FIGURA 3	ESTAÇÃO TOTAL, ORIENTAÇÃO DOS EIXOS.....	23
FIGURA 4	ERRO DE POSIÇÃO.....	25
FIGURA 5	ERROS DE NIVELAMENTO DA ESTAÇÃO.....	26
FIGURA 6	MosTUM – SITUAÇÃO ATUAL .....	32
FIGURA 7	TÍPICA CONFIGURAÇÃO DE REDES DE COMPUTADORES COM ACESSO REMOTO.....	34
FIGURA 8	SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO (SAM) .....	36
FIGURA 9	MÉTODO DE RECESSÃO.....	38
FIGURA 10	MÉTODO DE RECESSÃO – MUDANÇA DO REFERENCIAL .....	38
FIGURA 11	DIREÇÃO P-A .....	39
FIGURA 12	PROCESSO DE IRRADIAÇÃO .....	43
FIGURA 13	FORMAS DE REPRESENTAR GRAFICAMENTE A PRECISÃO DA POSIÇÃO DE UM PONTO.....	44
FIGURA 14	INSTRUMENTOS UTILIZADOS .....	55
FIGURA 15	COMUNICAÇÃO ENTRE A ESTAÇÃO TOTAL E O COMPUTADOR.....	60
FIGURA 16	FLUXOGRAMA DOS MÓDULOS DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO .....	61
FIGURA 17	FLUXOGRAMA DO MÓDULO DE AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	62
FIGURA 18	EXEMPLOS DE DADOS NO FORMATO GSI 8.....	63
FIGURA 19	COMPOSIÇÃO DA PALAVRA NO FORMATO GSI 8 .....	63
FIGURA 20	FLUXOGRAMA DO MÓDULO DE BANCO DE DADOS .....	64
FIGURA 21	FLUXOGRAMA DO MÓDULO RECESSÃO – PROCESSAMENTO E ANÁLISE.....	66
FIGURA 22	FLUXOGRAMA DO MÓDULO RECESSÃO – RELATÓRIO .....	68
FIGURA 23	FLUXOGRAMA DO MÓDULO RECESSÃO – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA.....	69
FIGURA 24	FLUXOGRAMA DO MÓDULO RECESSÃO – IRRADIAÇÃO.....	71
FIGURA 25	FLUXOGRAMA DO MÓDULO RECESSÃO – IRRADIAÇÃO – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA.....	72
FIGURA 26	MAPA DE LOCALIZAÇÃO – BASE DE CLASSIFICAÇÃO UFPR.....	74
FIGURA 27	ESTAÇÕES DE CONTROLE A, B E C; ESTAÇÃO D.....	75
FIGURA 28	PROGRAMA RECESSÃO.....	86
FIGURA 29	PROGRAMA SAM .....	87
FIGURA 30	PROGRAMA SAM – AQUISIÇÃO DE DADOS .....	88
FIGURA 31	PROGRAMA SAM – BANCO DE DADOS .....	89
FIGURA 32	PROGRAMA SAM – RECESSÃO – VERIFICAÇÃO .....	90
FIGURA 33	PROGRAMA SAM – RECESSÃO – PARTIDA .....	90
FIGURA 34	PROGRAMA SAM – RECESSÃO – CALCULAR RECESSÃO.....	91
FIGURA 35	PROGRAMA SAM – RECESSÃO – GRÁFICOS .....	92
FIGURA 36	PROGRAMA SAM – IRRADIAÇÃO .....	93
FIGURA 37	PILAR CENTRAL BASE DE CLASSIFICAÇÃO .....	95
FIGURA 38	DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS E ELIPSE DE ERROS – LAIGII (UFPR) .....	104
FIGURA 39	DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS E ELIPSE DE ERROS – UTFPR .....	109
FIGURA 40	DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS E ELIPSE DE ERROS – LAIG.....	115
GRÁFICO 1	COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS CONHECIDAS DA ESTAÇÃO D COM SUAS COORDENADAS CALCULADAS.....	82
GRÁFICO 2	COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA X ÉPOCAS DE MONITORAMENTO (GERADO PELO SAM) - LAIGII - UFPR.....	99
GRÁFICO 3	COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 – LAIG II - UFPR.....	100
GRÁFICO 4	COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 (GERADO PELO SAM) – LAIG II - UFPR .....	101

GRÁFICO 5	COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA X ÉPOCAS DE MONITORAMENTO (GERADO PELO SAM) – UTFPR.....	106
GRÁFICO 6	COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 - UTFPR.....	107
GRÁFICO 7	COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 (GERADO PELO SAM) - UTFPR.....	108
GRÁFICO 8	COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA X ÉPOCAS DE MONITORAMENTO (GERADO PELO SAM) – LAIG .....	112
GRÁFICO 9	COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 - LAIG.....	114
GRÁFICO10	COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 (GERADO PELO SAM) - LAIG.....	114

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	OBSERVAÇÕES EM CAMPO.....	76
QUADRO 2	COORDENADAS CONHECIDAS DAS ESTAÇÕES.....	80
QUADRO 3	DIREÇÕES HORIZONTAIS .....	80
QUADRO 4	ÂNGULOS HORIZONTAIS .....	80
QUADRO 5	COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA P .....	81
QUADRO 6	COORDENADAS CALCULADAS DA ESTAÇÃO D .....	81
QUADRO 7	COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA P COM SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO .....	85
QUADRO 8	COORDENADAS CALCULADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE (LAIG II - UFPR).....	97
QUADRO 9	DIREÇÕES HORIZONTAIS (LAIG II – UFPR).....	97
QUADRO 10	ÂNGULOS HORIZONTAIS (LAIG II – UFPR).....	97
QUADRO 11	COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA (LAIG II – UFPR).....	98
QUADRO 12	COORDENADAS CALCULADAS DO PONTO OBJETO (LAIG II – UFPR) .....	100
QUADRO 13	COORDENADAS CALCULADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE (UTFPR) .....	105
QUADRO 14	DIREÇÕES HORIZONTAIS (UTFPR) .....	105
QUADRO 15	ÂNGULOS HORIZONTAIS (UTFPR).....	105
QUADRO 16	COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA (UTFPR).....	107
QUADRO 17	COORDENADAS CALCULADAS DO PONTO OBJETO (UTFPR).....	107
QUADRO 18	COORDENADAS CALCULADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE (LAIG).....	111
QUADRO 19	DIREÇÕES HORIZONTAIS (LAIG) .....	111
QUADRO 20	ÂNGULOS HORIZONTAIS (LAIG) .....	111
QUADRO 21	COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA (LAIG) .....	111
QUADRO 22	COORDENADAS CALCULADAS DO PONTO OBJETO (LAIG) .....	113

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	14
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	14
1.2 OBJETIVO	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4 JUSTIFICATIVA	17
1.4.1 HISTÓRICO NA UFPR	18
1.5 ESTRUTURA DA TESE	19
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	20
2.1 MONITORAMENTO GEODÉSICO	21
2.1.1 Áreas Instáveis	22
2.1.2 Estações Totais	23
2.2 AUTOMAÇÃO NO MONITORAMENTO DE DESLOCAMENTOS	26
2.3 SISTEMAS DE MONITORAMENTO – ESTADO DA ARTE	27
2.3.1 Leica GeoMoS	28
2.3.2 DIMOS ( <i>Displacement Monitoring System</i> )	29
2.3.3 MoSTUM ( <i>Monitoring System TUM</i> )	30
2.3.4 ALERT ( <i>Displacement Monitoring System</i> )	32
<b>3 METODOLOGIA</b>	35
3.1 CONSIDERAÇÕES NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO (SAM)	35
3.2 MÉTODOS DE MEDIÇÃO E ANÁLISE	36
3.2.1 Método de Recessão	37
3.2.1.1 Modelo matemático	39
3.2.2 Irradiação	42
3.2.3 Análise de Deslocamentos	45
3.2.3.1 Ajustamento de observações	45
3.2.3.2 Erros grosseiros/ <i>outliers</i>	48
3.2.3.2.1 Teste Global ou Qui-Quadrado	49
3.2.3.2.2 Teste <i>Data Snooping</i>	52
3.2.3.2.3 Teste Tau ( $\tau$ )	53
3.3 INSTRUMENTAÇÃO	55

3.3.1 Correções Atmosféricas - Fórmulas adotadas pela IUGG .....	56
3.4 COMUNICAÇÃO E TRANSMISSÃO DOS DADOS .....	58
3.5 PROGRAMA SAM – SISTEMAS SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO TOPOGRÁFICO .....	60
3.5.1 Módulo de Aquisição de dados .....	62
3.5.2 Módulo de Banco de dados .....	64
3.5.3 Módulo de Recessão .....	65
3.5.3.1 Processamento e análise .....	66
3.5.3.2 Relatórios .....	68
3.5.3.3 Representação gráfica .....	69
3.5.3.4 Irradiação .....	70
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>73</b>
4.1 TESTE DE VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE RECESSÃO APLICADO AO MONITORAMENTO TOPOGRÁFICO .....	73
4.1.1 Experimento .....	73
4.1.1.1 Equipamentos .....	74
4.1.1.2 Procedimento de Campo .....	75
4.1.1.3 Procedimento de Cálculo .....	79
4.1.1.4 Resultados .....	81
4.1.1.5 Propagação de erros .....	84
4.1.1.6 Programa .....	85
4.2 PROGRAMA DESENVOLVIDO PARA GERENCIAR O SAM .....	86
4.3 TESTE DE VALIDAÇÃO DO SAM .....	94
4.3.1 Equipamentos .....	94
4.3.2 Experimento – LAIG II (UFPR) .....	95
4.3.2.1 Resultados .....	97
4.3.3 Experimento – UTFPR .....	104
4.3.4 Experimento – LAIG - INTERFERÔMETRO .....	110
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>116</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>168</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>188</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Historicamente, uma das principais limitações das técnicas de monitoramento geodésicas tem sido a dificuldade de executar medidas de forma automatizada. Enquanto muitos equipamentos geotécnicos e outros dispositivos não-geodésicos para medida de deslocamentos são prontamente adaptados para medidas automatizadas (CHRZANOWSKI, 1986), os levantamentos geodésicos se caracterizam tradicionalmente por operações laboriosas, dependentes da habilidade do operador.

Com o passar do tempo, foram desenvolvidas estações totais que executam medidas eletrônicas de distâncias, leituras automáticas dos círculos horizontal e vertical e reconhecimento automático de alvos, para obtenção de medidas com alta precisão. Porém, o empecilho maior para automatização permaneceu na dificuldade de obtenção de respostas (coordenadas) em tempo real, face à necessidade de processamento e ajustamento das informações e integração destas com dados de outros instrumentos como o caso de sensores de temperatura e pressão, por exemplo (LUTES, 2002).

Embora os equipamentos atualmente disponíveis no mercado tenham diversas funções para otimizar o trabalho de campo, não basta somente calcular coordenadas de pontos no monitoramento. É necessária a realização de diversos procedimentos para chegar a resultados que indiquem a variação da posição de um ponto ao longo do tempo.

Esses procedimentos englobam a escolha do instrumental, a maneira como são distribuídos os pontos de apoio no monitoramento, os programas utilizados para coleta, processamento, verificação, ajustamento e análise dos dados coletados, a forma como é realizada a comunicação e transferência dos dados entre o equipamento de medida e o computador, bem como o respectivo modo de armazenamento e visualização. O conjunto destes procedimentos caracteriza um sistema de monitoramento.



Parte do interesse no desenvolvimento desses sistemas automatizados é devido à necessidade de determinação de deslocamentos em tempo real, principalmente quando se envolve um grande volume de dados. Segundo Secord (1995), o intervalo de tempo entre a detecção e análise dos deslocamentos pode se estender durante vários dias sob circunstâncias normais. No entanto, este deveria ser quase que instantâneo sob condições críticas.

O volume de observações pode consistir de apenas algumas observações, na simples investigação de rotina, ou de centenas ou milhares de observações em condições muito complexas ou críticas. Já a quantidade de envolvimento humano pode ir desde a total, em um sistema puramente manual, a praticamente nula, em um sistema totalmente automatizado (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1994). Um sistema manual constitui um trabalho intensivo, propenso a erros e menos flexível na re-análise dos dados. Em contrapartida, um sistema automatizado torna-se mais favorável à medida que o tempo necessário para a análise diminui, o volume de dados aumenta e a taxa de detecção se torna mais frequente.

No monitoramento de deslocamentos, um sistema deve ser concebido para proporcionar a coleta, o processamento e a análise de dados sobre o objeto que é de interesse do monitoramento. O objetivo do sistema é o de fornecer as decisões relativas ao objeto de interesse em tempo oportuno, especialmente se as condições forem críticas (SECORD, 1995), isto é, se existir a necessidade de respostas imediatas acerca do comportamento de um objeto monitorado. As medições são realizadas empregando uma estação total (preferencialmente robotizada) e as medidas são transferidas para um computador que, além de armazená-las, realiza o processamento destas por meio de programas específicos.

De uma forma geral, a sequência dos trabalhos de monitoramento envolvem o projeto da rede de monitoramento, a seleção de técnicas de observações e instrumentos, a mensuração propriamente dita e o processamento e análise dos dados observados, transformando assim as observações em informações úteis para a análise da estrutura monitorada. Vale ressaltar que devido às limitações de tempo e custo, a estrutura a ser monitorada é discretizada por meio da seleção de pontos a serem monitorados.

Desse modo, a proposta aqui apresentada trata do projeto de um sistema semi-automatizado que será utilizado como apoio ao monitoramento topográfico, constituindo-se de um sistema de suporte à decisão. A hipótese da pesquisa é

demonstrar que é possível conjugar soluções de posicionamento, equipamento e programas com vistas a realizar a análise de deslocamentos de pontos já em campo, durante a realização das medições (coleta de dados).

Aqui há a necessidade de diferenciar sistemas semi-automatizados dos sistemas ditos automatizados. Neste trabalho a diferença está na forma de busca e mensuração dos pontos, que no primeiro é feita de forma manual, empregando-se estações totais convencionais e no segundo, estações totais robotizadas que permitem a realização automática destes procedimentos.

Para o desenvolvimento desse sistema, algumas etapas foram realizadas. A primeira diz respeito à definição da instrumentação que será empregada no sistema. Serão utilizadas as estações totais que permitem observar direções. A etapa seguinte consiste no desenvolvimento de ferramentas que permitam a comunicação entre o computador e o equipamento, ou seja, o envio e/ou transmissão de informações entre esses componentes.

Uma terceira etapa consistiu no estudo de técnicas de medição que pudessem ser utilizadas em áreas instáveis, nas quais não fosse possível a monumentalização do ponto sobre o qual fosse instalado o equipamento, bem como a avaliação da estabilidade do mesmo durante as observações.

A etapa final caracterizou-se pelo desenvolvimento de um programa que permite a operação do sistema em um modo semi-automatizado. Além dessas características, outros fatores foram levados em consideração no desenvolvimento do programa, tais como: coleta de dados de forma semi-automatizada; armazenamento dos dados em um banco de dados relacional; execução do processamento dos dados de forma automática, bem como geração de gráficos de apoio à análise dos resultados e o ajustamento dos dados.

## 1.2 OBJETIVO

Desenvolver um sistema semi-automatizado de monitoramento que possibilite a determinação de coordenadas dos pontos e possíveis variações em suas posições em tempo real, entendido aqui como no ato das mensurações em campo.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar o sistema de monitoramento (transferência dos dados, cálculos, instrumentação);
- b) Projetar rotinas computacionais para a automação na coleta, processamento, análise e representação dos dados;
- c) Realizar o monitoramento da posição dos pontos objeto de forma a detectar possíveis variações em suas posições;
- d) Testar e validar o sistema semi-automatizado para monitoramento.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

A rápida evolução da Engenharia, microeletrônica e das Ciências da Computação alteraram os instrumentos e metodologias das Ciências Geodésicas, principalmente no que diz respeito ao monitoramento de pontos.

Catástrofes ocorridas em todo o mundo, tais como colapsos de grandes estruturas e deslizamentos de terra, também têm contribuído para o aumento da demanda por ferramentas que proporcionem uma avaliação rápida e precisa do objeto em questão. O que se percebe é a necessidade da avaliação em tempo real do comportamento de tais elementos, ou seja, da determinação de possíveis variações da posição dos pontos com qualidade suficiente para validá-la, com uma diminuição do tempo de resposta entre as observações e os resultados dos deslocamentos dos pontos, preferencialmente, logo após a mensuração.

Com base no problema exposto, os sistemas semi-automatizados ou automatizados de monitoramento são ferramentas para auxiliar nessas condições. Estes por inúmeras vezes caracterizam-se por sistemas de apoio à tomada de decisões.

Métodos de monitoramento manual em estruturas instáveis e obras podem ser custosos quando efetuados por um longo período nessas áreas e não fornecem respostas rápidas. Assim, o uso de sistemas automatizados ou semi-automatizados de monitoramento podem ser uma solução na busca por alternativas mais

econômicas na realização do trabalho, contribuindo com o aumento da precisão e confiabilidade de pontos monitorados e maior rapidez na coleta, processamento e análise das observações realizadas.

Portanto, um sistema automatizado ou semi-automatizado de monitoramento deve permitir o acompanhamento e estudo contínuo e sistemático do comportamento de fenômenos, eventos e situações específicas, cujas condições devem ser identificadas, avaliadas e comparadas em tempo real. Para que isto seja possível, são necessários conhecimentos acerca de todo o instrumental, linguagens de programação, conhecimentos das técnicas de medição e ajuste e testes para verificar a aplicabilidade do sistema.

Com o sistema há uma maior agilidade no trabalho de campo, minimização de erros no processo, sendo possível ainda uma conferência em tempo real dos dados observados. Com um controle constante, quaisquer deslocamentos nas áreas ou estruturas em estudo são detectados em estágios iniciais de ocorrência.

Devido à importância do tema, algumas Universidades e empresas têm trabalhado no desenvolvimento de sistemas para monitoramento, tais como: programa comercial Leica GeoMoS (LEICA GEOSYSTEMS, 2007); DIMOS (*Displacement Monitoring System*), desenvolvido pelo departamento de Geodésia da *University of New Brunswick* (LUTES, 2002); MoSTUM (*Monitoring System TUM*) desenvolvido pelo departamento de Geodésia da *Technical University of Munich* (FOPPE et al., 2006); ALERT desenvolvido pela empresa *A. Chrzanowski & Associates* (ACA).

#### 1.4.1 HISTÓRICO NA UFPR

Desde 1998, um grupo de pesquisadores ligados ao curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná (UFPR) vem desenvolvendo inúmeros trabalhos nessa área, especificamente no que se refere à questão da coleta e processamento dos dados (SHIBAYAMA, 2007; NEVES, 2008), e ao controle e operação remota das estações totais (NADAL, 2008).

Este estudo é justificado, portanto para a consolidação dos trabalhos realizados pelo Grupo de Geodésia Aplicada a Engenharia, na linha de pesquisa de

Levantamentos Geodésicos, item de automação topográfica do programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. A principal contribuição deste trabalho de doutorado caracterizar-se-á pelo desenvolvimento de um sistema semi-automatizado de monitoramento que opere durante curtos períodos de tempo (ex.: alguns dias) e possibilite a obtenção do comportamento temporal da posição de pontos localizados em áreas instáveis em tempo real.

## 1.5 ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos. O primeiro capítulo especifica o problema a ser solucionado durante a pesquisa justificando sua relevância para a ciência, bem como, os objetivos geral e específicos. No Capítulo 2 são apresentados os aspectos conceituais fundamentais nos quais se baseia esta pesquisa. O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para a implementação do sistema semi-automatizado. Nele estão especificados todos os elementos utilizados em sua elaboração. O Capítulo 4 contém a descrição dos experimentos realizados, onde apresentam-se os resultados dos cálculos efetuados e análise dos gráficos gerados. No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões, bem como algumas recomendações para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é realizada uma revisão sobre questões relacionadas a Geodésia aplicada ao monitoramento de deslocamentos.

### 2.1 MONITORAMENTO DE PONTOS

Monitorar é acompanhar o comportamento de um objeto ao longo do tempo. Quando se trata de monitoramento de pontos, este acompanhamento pode ser realizado por meio da determinação e comparação de coordenadas de um mesmo ponto em duas épocas distintas, num mesmo sistema de referência.

Segundo Nadal (2008):

“Uma das maneiras de executar o monitoramento do deslocamento de pontos ao longo do tempo é a aplicação de técnicas geodésicas. As técnicas geodésicas convencionais baseiam-se no uso de instrumentos, como estações totais e níveis, e na aplicação de métodos, como triangulação, trilateração, poligonação e nivelamento geométrico.”

Da mesma forma, a US Army Corps of Engineers (1994) enfatiza que os levantamentos geodésicos tem sido utilizados para a determinação de deslocamentos absolutos de pontos selecionados sobre a superfície do objeto, principalmente relacionados a alguns pontos de referência considerados estáveis. A comparação das coordenadas pode ser realizada tanto bidimensionalmente como tridimensionalmente.

Cada método de levantamento apresenta suas vantagens e desvantagens. De acordo com a US Army Corps of Engineers (1994), levantamentos geodésicos utilizando uma rede de pontos interconectados por ângulos, direções e/ou medidas de distância usualmente proporcionam suficiente redundância de observações para análises estatísticas de qualidade e detecção de erros.

Além das técnicas convencionais, como poligonação, triangulação, trilateração e irradiação, existem outras técnicas geodésicas que podem ser utilizadas no monitoramento de deslocamentos, dentre elas:

- a) Técnicas fotogramétricas (CHEN, 1983): promovem a completa e instantânea informação tridimensional; possibilitam a redução do tempo de trabalho de campo e em princípio, um número ilimitado de pontos pode ser monitorado. Entretanto, essa técnica torna-se limitada para monitoramento de grandes estruturas com problemas na estabilidade dos alvos e falta/excesso de iluminação;
- b) Laser Scanning: tecnologia recente, que permite um detalhamento da forma da estrutura. Apresenta como desvantagem o alto custo do instrumento e a precisão obtida, quando comparado com técnicas tradicionais;
- c) Sistema de Posicionamento Global (GNSS): a intervisibilidade entre estações não é necessária, o que permite uma maior flexibilidade na seleção das posições das mesmas; as medidas podem ser realizadas durante o dia e a noite sob condições de tempo variadas. Desvantagem: não permite o rastreamento dentro de ambientes fechados ou que dificultem o recebimento dos sinais dos satélites.

Neste trabalho serão aplicadas técnicas convencionais, empregando estações totais, as quais serão descritas a seguir.

### 2.1.1 Áreas Instáveis

O intuito do levantamento a ser realizado será monitorar áreas nas quais não é possível a monumentalização do ponto sobre no qual se instala o equipamento, bem como a avaliação da estabilidade do mesmo durante as observações. Para tanto, se faz necessário caracterizar tais áreas.

As áreas instáveis são caracterizadas por locais onde ocorreram desastres, catástrofes, colapsos de grandes estruturas. São eventos adversos que causam grande impacto na sociedade, distinguidos principalmente em função da natureza do fenômeno que o desencadeia (TOBIN e MONTZ, 1997); consequentemente, regiões que sofrem ou sofreram deslocamentos. Como exemplo, cita-se: o desabamento ocorrido na obra da Linha 4 do metrô em São Paulo em janeiro de 2007 (Figura 1); o

deslizamento que atingiu a encosta do túnel Rebouças no Rio de Janeiro em outubro de 2007 (Figura 2) e a ruptura da barragem de Apertadinho em Vilhena – RO em janeiro de 2008.



FIGURA 1 – DESABAMENTO OCORRIDO NA OBRA DA LINHA 4 DO METRÔ EM SÃO PAULO

FONTE: ACIDENTE (2007)



FIGURA 2 – DESLIZAMENTO QUE ATINGIU A ENCOSTA DO TÚNEL REBOUÇAS NO RIO DE JANEIRO

FONTE: RIO (2008)



### 2.1.2 Estações Totais

Uma estação total (Figura 3) combina três componentes básicos: um medidor eletrônico de distância, um teodolito eletrônico e um microprocessador, formando assim um único equipamento (WOLF; BRINKER, 1994). Estes equipamentos medem direções horizontais, ângulos verticais, assim como distâncias inclinadas. Destes dados podem ser calculadas distâncias horizontais, elevações e coordenadas dos pontos visados.

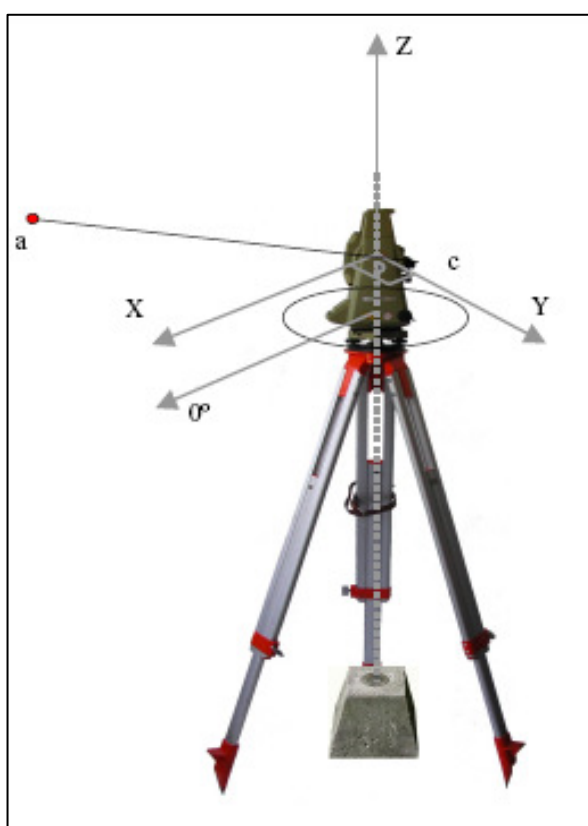


FIGURA 3 – ESTAÇÃO TOTAL, ORIENTAÇÃO DOS EIXOS  
FONTE: MIRANDA (2007)

Ferreira et al. (2011) apresentam uma divisão moderna para classificação das estações totais. Esta inicia-se com a divisão das estações totais em estações com servo motores ou estações automáticas.

As primeiras são equipamentos que possuem motores mecânicos que permitem com que a estação passe a realizar movimentos horizontais e verticais.

Segundo os autores, quando a estação total com servo motor é capaz de realizar o reconhecimento do prisma refletor esta é chamada de estação automática.

Ferreira et al. (2011) também divide as estações totais em:

- a) Estações robotizadas/robóticas: robotização dos movimentos agregada ao reconhecimento automático de prismas. Podem ser operadas por meio de uma controladora com acesso remoto. Opera sem uma interface manual;
- b) Estações para monitoramento: englobam a capacidade de estações totais automatizadas realizarem coleta de dados combinados com o software de monitoramento. Ao projetar uma estrutura, é essencial incluir a necessidade de controles periódicos de sua posição. Todos os anos ocorrem colapsos causados por deslizamentos de terra e falhas estruturais. Em aplicações como a construção de pontes, túneis, minas, arranha-céus e barragens, é crucial monitorar as mudanças de posição ao longo do tempo, observando pequenos movimentos e emitindo alertas a fim de informar um perigo potencial de falha estrutural;
- c) Estações com imageamento: estações totais com recursos de imagens integrados. Após a medição de um ponto, uma fotografia pode ser obtida, estando esta georreferenciada ao ponto medido. Uma outra possibilidade é de criar imagens orto-retificadas tomando várias fotos em direções horizontal / vertical e combiná-las para formar uma única imagem do objeto monitorado;
- d) Estações integradas com GPS: a estação pode ser utilizada como estação total integrada ao receptor GPS ou como dois equipamentos independentes.

Os equipamentos ainda apresentam sensores eletrônicos de inclinação que permitem detectar e corrigir a inclinação dos eixos do equipamento também. Cabe salientar que o equipamento deve estar nivelado dentro de certa margem para que estes sensores funcionem ou realizem o nivelamento fino; caso esteja fora desta margem, um sinal indica que os sensores eletrônicos de inclinação não poderão operar (VEIGA, 2006).

De acordo com Narumi (2000), o compensador das estações totais tem a função de corrigir automaticamente os ângulos vertical e horizontal quando o

instrumento se encontra desnivelado. Existem dois tipos de compensadores para estações totais: o simples, que corrige o ângulo vertical (direção X) e o duplo que corrige os ângulos vertical e horizontal (direção X e Y).

Um equipamento não nivelado, verificado e retificado pode conduzir a três tipos de erros (PAIVA; STENMARK, 2002):

- a) Erro de posição;
- b) Erro no ângulo vertical;
- c) Erro no ângulo horizontal.

O erro de posição (Figura 4) é decorrente do fato de que o centro de rotação do instrumento estar localizado na base do instrumento (PAIVA; STENMARK, 2002), como pode ser visto na figura abaixo:

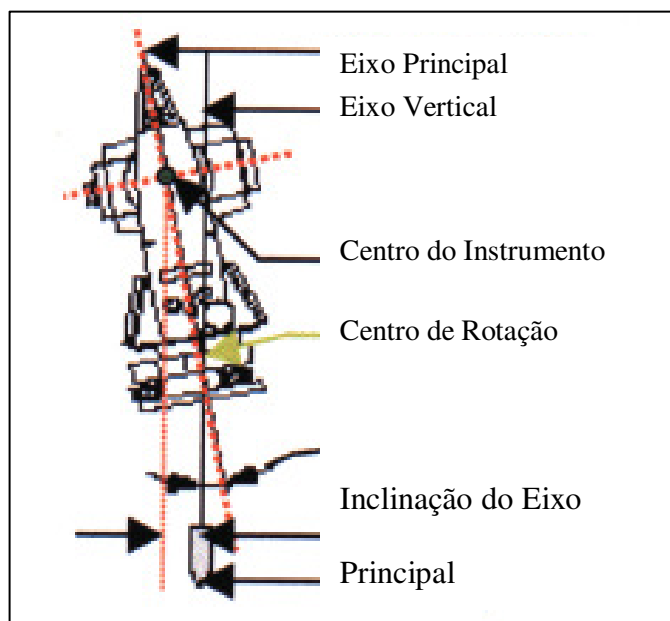


FIGURA 4 - ERRO DE POSIÇÃO  
FONTE: PAIVA; STENMARK (2002)

Um não nivelamento causa erros nas medidas dos ângulos horizontais e verticais que não podem ser eliminados mesmo com medições nas posições direta e inversa (Figura 5).

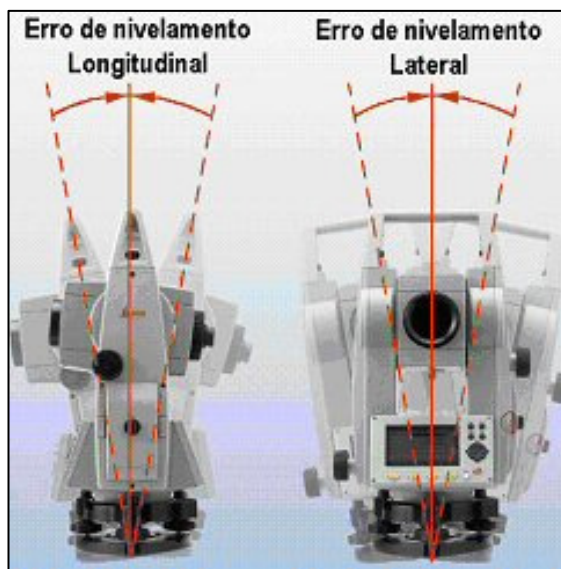


FIGURA 5 - ERROS DE NIVELAMENTO DA ESTAÇÃO  
 FONTE: PAIVA; STENMARK (2002)

De acordo com Paiva; Stenmark (2002), um erro de nivelamento lateral afeta as medições do ângulo horizontal causando um erro no alinhamento. Os ângulos horizontais podem ser corrigidos somente com o compensador de dois eixos ativado. Já um erro de nivelamento longitudinal se reflete nas medições do ângulo vertical. A inclinação do instrumento no sentido longitudinal gera um erro de um para um nas medições do ângulo vertical. Logo, o não nivelamento do instrumento pode provocar interpretações errôneas dos resultados. Pode-se assumir que o objeto esteja sofrendo movimentações, no entanto é o instrumento que as sofre.

## 2.2 AUTOMAÇÃO NO MONITORAMENTO DE DESLOCAMENTOS

No monitoramento de deslocamentos, um sistema deve ser concebido para proporcionar a coleta, processamento e análise de dados sobre o objeto que é de interesse do monitoramento. O objetivo do sistema é o de fornecer as decisões relativas ao objeto de interesse em tempo oportuno, especialmente se as condições forem críticas (SECORD, 1995).

Um Sistema Automatizado (Semi) de Monitoramento (SAM) contribui com o aumento da acurácia e confiabilidade nos resultados referentes aos pontos

monitorados e propicia maior rapidez na coleta, processamento e análise das observações coletadas. Para que isto seja possível, são necessários conhecimentos acerca de todo o instrumental, linguagens de programação, conhecimentos das técnicas de medição/ajuste e testes para verificar a aplicabilidade do sistema.

Segundo US Army Corps of Engineers (2002), existem algumas vantagens e limitações da automação. Vantagens de um sistema automático de aquisição de dados:

Os custos são reduzidos;

- Repetibilidade das leituras;
- Leitura de dados em locais remotos ou de difícil acesso;
- Transmissão instantânea dos dados a longas distâncias;
- Acurácia;
- Maior flexibilidade na seleção e manipulação dos dados;
- Armazenamento dos dados de forma eletrônica;

Limitações de um sistema automático:

- Excesso de dados pode gerar falha no envio das respostas;
- Alto custo de manutenção;
- Necessidade de manutenção regular;
- Necessidade de uma fonte de energia confiável e contínua;
- O sistema pode ser suscetível a danos causados por condições meteorológicas ou atividades de construção.

O que se observa é que ao se unir as funções manuais e automáticas, essas limitações no funcionamento do sistema podem ser minimizadas.

## 2.3 SISTEMAS DE MONITORAMENTO – ESTADO DA ARTE

Em pesquisas realizadas sobre o desenvolvimento de sistemas semi ou automatizados de monitoramento, verificaram-se diversos trabalhos em empresas e Universidades no exterior. Na sequência, citam-se alguns trabalhos sobre este tema.

### 2.3.1 Leica GeoMoS

Segundo Leica Geosystems (2007), o Geo Monitoring System (GeoMoS) é um sistema voltado para o monitoramento de barragens, medições de deformações (ex.: represas, túneis, vulcões, pontes, prédios altos), detecção de deslizamentos e assentamentos de terra (ex.: mineração), levantamentos automatizados (ex.: medições automatizadas e contínuas), a partir do uso de estações totais robotizadas, GNSS, níveis, sensores meteorológicos. O programa possui duas componentes principais: uma responsável pelo controle dos sensores, coleta de dados, cálculo e gestão de eventos; a outra se encarrega das análises, visualizações e processamento dos dados.

A comunicação para controle dos sensores e aquisição dos dados pode ser feita por cabos, radio, LAN e GSM.

Já as coordenadas e deslocamentos são calculados no sistema local e as informações de um ou mais sensores podem ser modeladas com constantes, funções matemáticas e/ou operadores lógicos. As medições de pontos de referência e/ou dados meteorológicos podem ser usados para corrigir mudanças e erros atmosféricos na posição e orientação da estação total, podendo ainda combinar sistemas terrestres e de posicionamento por satélites para superar problemas com pontos de controle instáveis. Permite também o cálculo de deslocamentos em tempo-real (LEICA GEOSYSTEMS, 2007).

Outras características do programa (LEICA GEOSYSTEMS, 2007):

- a) O sistema pode ser remotamente acessado e configurado;
- b) Configurações escalonáveis desde estação isolada até configuração de multi-estações;
- c) Suporte a banco de dados de grande porte com acesso multi-usuário (SQL-Server);
- d) Várias estações de medição podem ser conectadas ao sistema;
- e) Uso paralelo de vários sensores (ex.: estações totais, GPS, sensores meteorológicos, sensores geotécnicos);
- f) Remessa e sincronização de dados automática usando cabos, link de rádio, LAN, WAN ou Internet;
- g) Capacidade de medições de longas distâncias (até 5 km);

- h) Edição e Pós-processamento através do histórico dos dados;
- i) Sistema de gerenciamento de mensagens de estado do sistema (ex.: limite excedido, falha de alimentação, roubo);
- j) Mensagens de estado do sistema via e-mail ou interfaces digitais de entrada e saída;
- k) Importação e Exportação para outros sistemas (formatos ASCII, DGN, WMF, XLS);
- l) Backup e Arquivamento.

### 2.3.2 DIMOS (*Displacement MOnitoring System*)

DIMOS é um programa, desenvolvido pela *University of New Brunswick*, para coleta e processamento de dados automatizados, criado para o monitoramento geodésico de deslocamentos de pontos em um projeto de barragem no sul da Califórnia, *Diamond Valley Lake*. Devido ao tamanho desse projeto, o programa de monitoramento geodésico não poderia ser implementado utilizando técnicas de levantamentos tradicionais. Por isso, foi concebido um sistema que utiliza uma rede de estações totais robotizadas instaladas permanentemente para efetuar as medições e o processamento de dados de uma forma totalmente automática (LUTES et al., 2001).

O DIMOS foi desenvolvido como parte desse sistema automatizado de monitoramento da *Diamond Valley Lake*. Ele permite o controle remoto e pré-programação das observações obtidas com estações totais robotizadas e outros sensores; identificação automática de estações de referência instáveis, utilizando para isso a transformação de similaridade iterativa; determinação automática e apresentação gráfica dos deslocamentos dos pontos monitorados com as respectivas informações de variância-covariância.

Demais funcionalidades e características do programa (LUTES et al., 2001) :

- a) Histórico de seus dados em um banco de dados relacional;
- b) Suporta operações de medição em modo automático, semi-automático, ou interativos;
- c) Programação de atividades de coleta de dados flexível;
- d) Interfaces com sensores digitais de temperatura e pressão para armazenamento de dados meteorológicos e correção de medidas de distâncias;
- e) Acesso remoto;
- f) Capacidade de transferir dados observados entre computadores diferentes;
- g) Reinicia automaticamente a coleta de observações, após uma perda de energia;
- h) Processa os dados automaticamente, incluindo uma análise da estabilidade dos pontos de referência observados por cada uma das estações totais robotizadas;
- i) Tem a capacidade de incorporar os dados a partir de uma estação total itinerante;
- j) É possível adicionar estações totais robotizadas e sensores meteorológicos de diferentes fabricantes sem modificar o programa existente;
- k) Coleta dados mesmo quando a rede de comunicação não está operacional.

### 2.3.3 MoSTUM (*Monitoring System Technical University of Munich*)

No ano de 2003, um sistema automático para observações geodésicas permanente, chamado MoSTUM (*Monitoring System Tum*), ver Figura 6, foi proposto pelo departamento de Geodésia da *Technical University of Munich*. Baseado na aplicação de estações totais robotizadas, foi desenvolvido especialmente para o acompanhamento do comportamento de edifícios, de construções históricas (FOPPE et al., 2006).



Um sistema de acompanhamento permanente da arquitetura histórica deve satisfazer os seguintes requisitos (FOPPE et al., 2006):

- a) Acompanhamento permanente do comportamento do edifício para a detecção em períodos regulares (anos, semanas, dias);
- b) Registro permanente de valores meteorológicos: temperatura (dentro e fora da construção), pressão (no interior), e de umidade (no interior);
- c) A concepção do sistema deve ser flexível para permitir mudanças na configuração do sistema ou até mesmo a expansão do sistema para acréscimo de pontos de monitoramento;
- d) As precisões exigidas dependem do movimento esperado. Para sistemas tridimensionais de observação nas construções históricas, normalmente, o desvio-padrão para cada componente da coordenada  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z \leq 1 \text{ mm}$ , são suficientes;

Para atender a esses requisitos o sistema MosTUM trabalha com:

- a) Suporte para sensores adicionais utilizados na detecção de influências exteriores, como informações meteorológicas.
- b) Transferência de dados remota através de conexão 3G;
- c) Oferece a possibilidade de verificar o estado do objeto a partir do escritório ou até mesmo de qualquer outro lugar no mundo através de uma conexão *wireless*;
- d) Em casos críticos, pode funcionar como um sistema de alarme através do envio de sms para telefones celulares dos responsáveis pelo monitoramento;
- e) O sistema consiste de estações totais robotizadas e prismas para a sinalização dos pontos objetos;
- f) É possível instalar mais de uma estação total no interior do edifício, sendo a conexão entre as estações realizada por D-LAN ou W-LAN;
- g) A transferência e manutenção dos dados são realizadas por uma estação mestra, via internet;
- h) Em caso de queda total de energia o sistema é protegido por uma fonte de energia independente.
- i) A análise das séries temporais é realizada em escritório.

Na figura a seguir, pode ser observado o funcionamento do sistema.

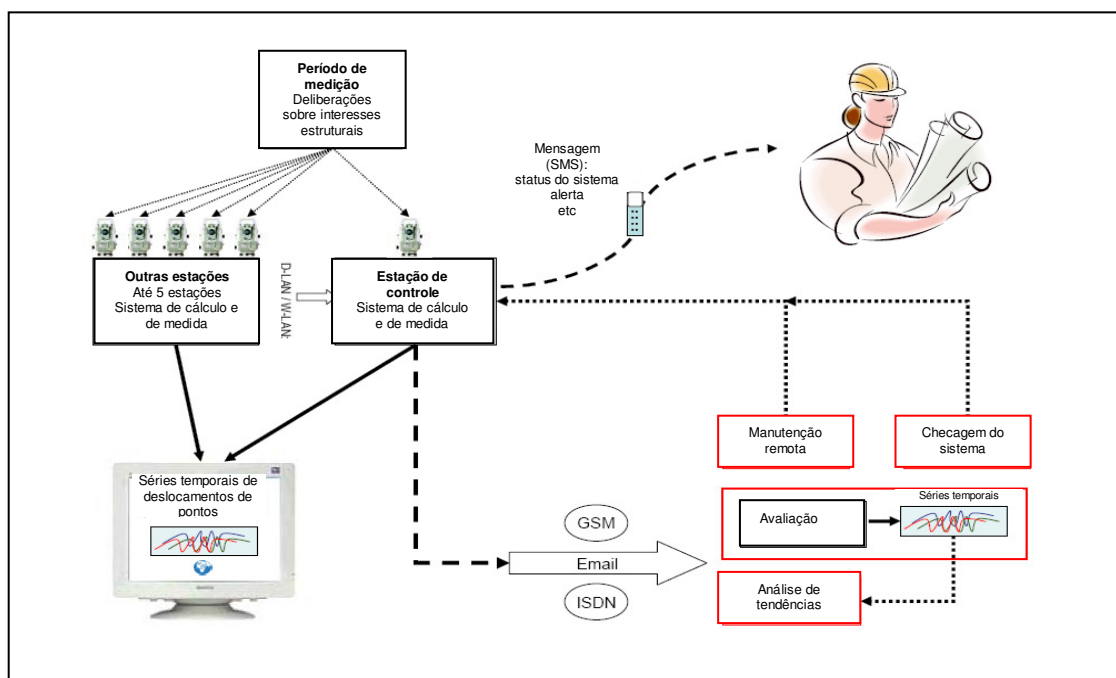


FIGURA 6 – MosTUM – SITUAÇÃO ATUAL

FONTE: FOPPE et al. (2006)

#### 2.3.4 ALERT (*Displacement Monitoring System*)

Segundo Wilkins et al. (2003a), ALERT é um sistema totalmente automatizado de monitoramento, processamento e análise de deslocamentos, que utiliza estações totais. As sequências das observações são repetidas e pré-definidas conforme intervalos selecionados pelo usuário e os resultados podem ser examinados ou a programação alterada sem que seja necessária uma visita ao local. Algoritmos especiais têm sido desenvolvidos para melhorar a precisão e confiabilidade do sistema, reduzindo os efeitos dos erros sistemáticos: refração atmosférica, instabilidade dos instrumentos/pontos de referência, e defeitos de configuração. O monitoramento da posição das estações totais usando sensores GPS cria adicionalmente flexibilidade operacional e mantém a integridade do sistema quando um número insuficiente de estações de referência está disponível.

Demais características dos sistemas (WILKINS et al., 2003b):

- a) Uma rede permite o acesso remoto às componentes do sistema;
- b) Há suporte total para operação remota via LAN e de ligações à internet e acesso independente de provedor de dados (Figura 7);
- c) Não existe limite para quantidade de instrumentos e pontos a serem utilizados;
- d) A utilização de múltiplos sensores melhora a precisão, e particularmente a confiabilidade dos resultados dos deslocamentos;
- e) Completa análise estatística das medições de cada ciclo, quando as observações de múltiplas estações totais são combinadas;
- f) Os conjuntos de dados são combinados utilizando o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados;
- g) Identificação de quaisquer erros de pontaria cometidos, assim como uma estimativa para saber se a precisão da observação foi estabelecida como esperado;
- h) O software permite controle remoto e pré-programação das observações obtidas com estações totais e outros sensores;
- i) A coleta de dados, transferência, e processamento podem ser programados independentemente;
- j) As direções horizontais, ângulos zenitais, distâncias, coletados pelas estações totais são corrigidos das influências das condições atmosféricas, do instrumental e de off-set em alvos;
- k) A redução e o processamento dos dados são feitos de forma totalmente automatizada;
- l) Identificação automática de estações de referência instáveis;
- m) O sistema é capaz de recuperar cortes de energia sem intervenção do usuário;
- n) Determinação automática e apresentação gráfica de deslocamentos de pontos monitorados com a respectiva informação de variância-covariância.

Alguns módulos foram adicionados ao sistema: um módulo para a realização de um ajustamento totalmente automático pelo método de mínimos quadrados, de redes de estações totais robotizadas; um módulo de alerta que prevê um sistema de alarme automático sempre que os resultados do monitoramento indicam que os limites pré-determinados de valores de deslocamentos foram ultrapassados.

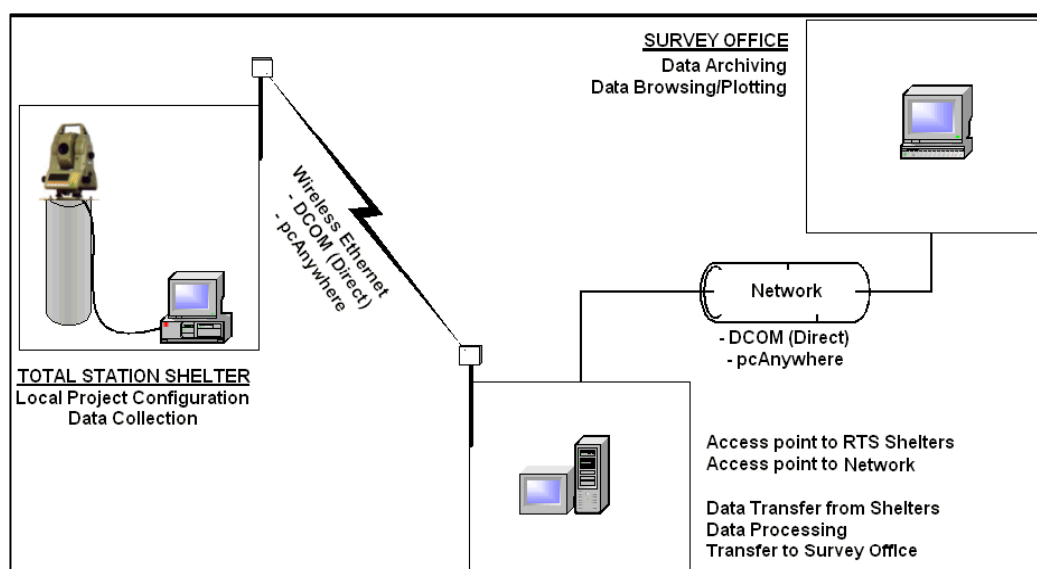


FIGURA 7 – TÍPICA CONFIGURAÇÃO DE REDES DE COMPUTADORES COM ACESSO REMOTO

FONTE: WILKINS et al. (2003a)

Segundo Chrzanowski; Chrzanowski (2009), atualmente foram incorporados ao ALERT receptores GNSS, bem como equipamentos destinados à análise de deformações, para tanto o mais recente desenvolvimento é conhecido como ALERT – Sistema de detecção de deformações (ALERT-DDS). O objetivo é ser capaz de realizar o monitoramento de deformações estruturais de forma totalmente automatizada. É um sistema autônomo que coleta, processa e analisa os dados de monitoramento.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES NO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO (SAM)

A ideia de um sistema para monitoramento vai além do desenvolvimento de um programa para o cálculo de coordenadas. O sistema pode ser entendido como um conjunto de metodologias e, neste sentido, estudos devem ser realizados sobre técnicas de posicionamento, processamento, análise de dados, interface com o usuário e da forma de conjugar estes elementos por meio de um programa.

Um sistema de monitoramento deve ser desenvolvido com o intuito de permitir o acompanhamento do comportamento de um objeto, por meio de sua discretização por pontos ao longo do tempo. Para atingir esse objetivo, o que se propõe é automatizar o procedimento empregado para o monitoramento, iniciando os estudos necessários para a automação na coleta, processamento, verificação e ajustamento das observações, assim como a representação gráfica dos resultados e a verificação das potencialidades de emprego de instrumentos geodésicos (estação total) no monitoramento de deslocamentos.

Cabe ressaltar que, como o sistema foi desenvolvido para o uso com estações que não são robotizadas, o sistema foi denominado de semi-automatizado. Os resultados obtidos para as coordenadas foram estatisticamente avaliados por testes de confiabilidade.

Realizados os estudos sobre os itens abordados acima, iniciou-se a fase de projeto, a qual procura conciliar todos esses elementos, verificando as potencialidades e limitações do sistema como um todo.

Para tanto, o projeto de um sistema deve considerar os seguintes elementos: o tipo de observações; a localização dos pontos objeto e da estação de controle; a instrumentação envolvida; tempo envolvido na coleta dos dados, bem como a duração de toda a campanha de monitoramento; a estabilidade dos pontos de referência e da estação de controle; e a periodicidade do controle.

A seguir serão descritos os diferentes componentes que estão envolvidos na implementação desse sistema (Figura 8): métodos de medição, instrumentação,

comunicação e transferência dos dados e programa.

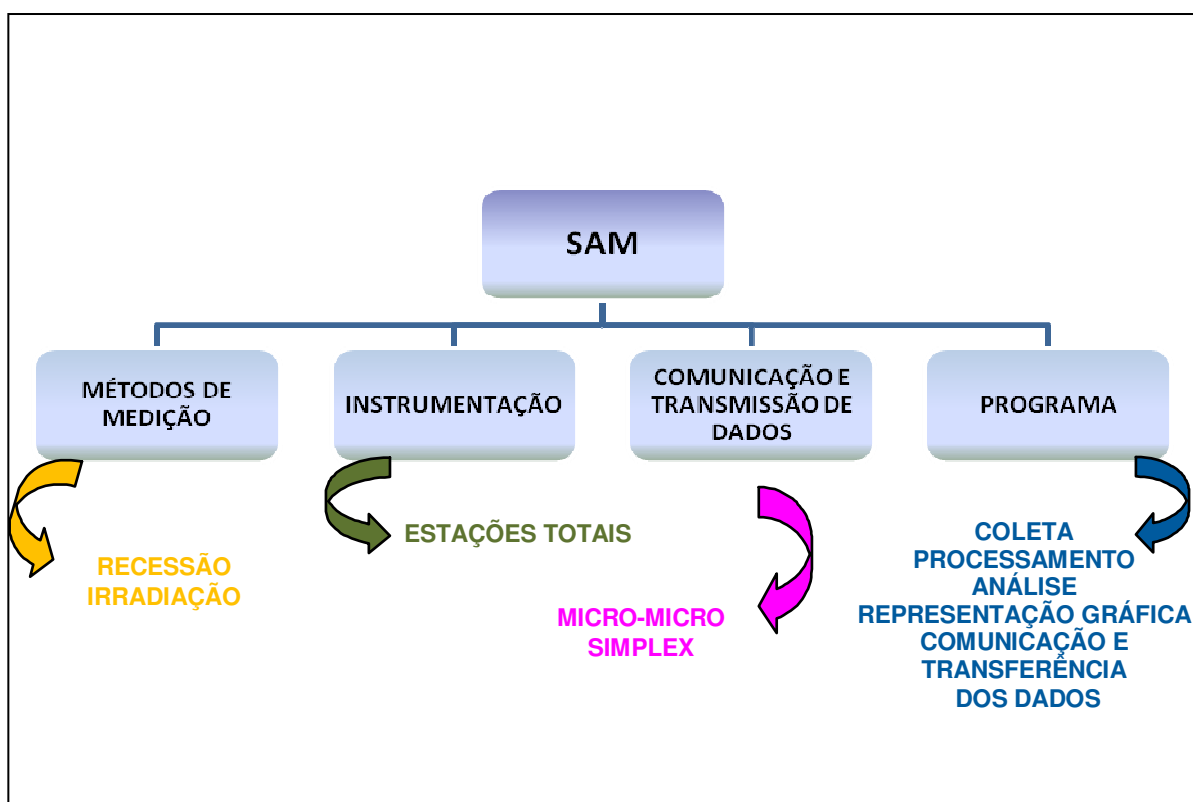


FIGURA 8 – SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO (SAM)

FONTE: O autor (2011)

### 3.2. MÉTODOS DE MEDIÇÃO E ANÁLISE

Quando se analisa de forma sistêmica todos os detalhes que envolvem um projeto de controle de deslocamentos, verifica-se que para obter medidas com acurácia não basta contar com instrumentos de alta precisão e uma rede de pontos fixos de referência. Assim, no planejamento do projeto deve-se definir uma metodologia de medição apropriada ao tipo de levantamento em questão; verificar a viabilidade de se obter dados com precisão e acurácia desejada à escala de tempo do fenômeno a ser medido; a logística das diversas campanhas de medições; custos; etc. (PACILÉO NETTO et al., 2002).

Assim sendo, as metodologias que foram empregadas nesse projeto foram definidas em função da necessidade de se ter a posição da estação total definida

num sistema de referência consistente, sendo este realizado por um conjunto de pontos, materializados em campo, que compuseram a rede de referência. Isso foi possível por meio do emprego do Método de Recessão. Já para a determinação das coordenadas dos pontos objeto a serem levantadas, foi empregada a técnica de Irradiação.

É importante ressaltar que neste sistema foram trabalhadas apenas as coordenadas bi-dimensionais (de forma simplificada, X e Y) dos pontos empregando-se as estações totais. A componente altimétrica Z não foi abordada.

### 3.2.1 Método de Recessão

O monitoramento topográfico de uma estrutura pode ser contínuo ou organizado por campanhas, onde as observações são realizadas em períodos pré-programados. Nestes dois casos normalmente são materializadas redes de pontos por pilares ou outros sistemas, que permitam a centragem forçada do equipamento. Porém, em situações onde o monitoramento deve ser realizado em caráter emergencial, não há a possibilidade de construção deste tipo de estrutura. Assim, a posição do instrumento deve ser decidida em campo e de forma que seja possível a determinação da orientação e coordenadas iniciais do ponto onde a estação está instalada.

Para que seja possível definir um conjunto de pontos de apoio que materializem o sistema local de referência estabelecido, deve-se posicioná-lo em locais fora da área de interferência do objeto a ser monitorado e de forma que estejam fixos e estáveis (o que deve ser controlado durante o levantamento). A partir da observação a estes pontos deve ser possível determinar as coordenadas da estação.

Essa determinação pode ser realizada por meio do emprego do Método de Recessão, que consiste exatamente na determinação das coordenadas de uma estação desconhecida (ocupada pelo equipamento), a partir das coordenadas de três estações de controle (no mínimo), bem como, das observações das direções até essas estações.

A Recessão, também conhecida como Problema de Pothenot, Problema dos Três Pontos ou ainda como método de intersecção inversa, é um processo de determinação de coordenadas. Segundo Kahmen; Faig (1988) consiste em determinar as coordenadas de um novo ponto ocupado pelo equipamento, a partir de observações de direções a estações de controle, bem como do conhecimento das coordenadas dessas estações (Figuras 9 e 10).

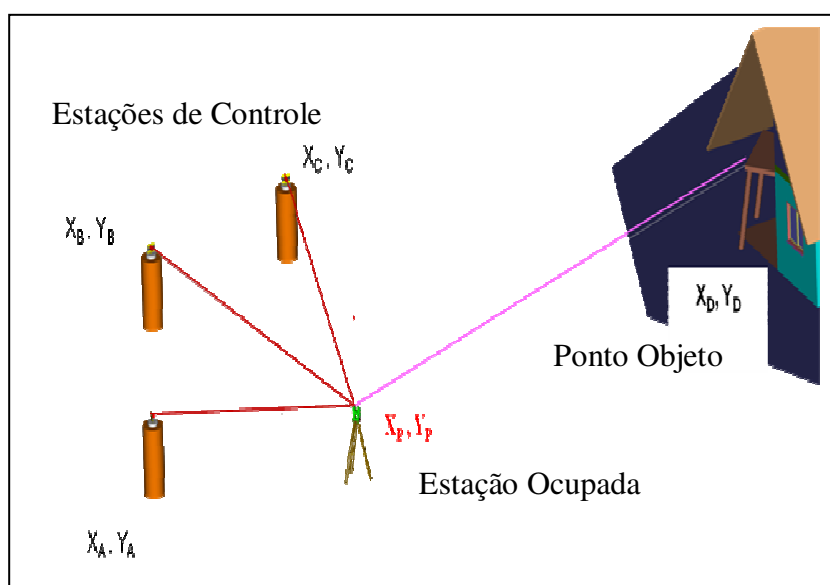


FIGURA 09 - MÉTODO DE RECESSÃO

FONTE: O autor (2010)

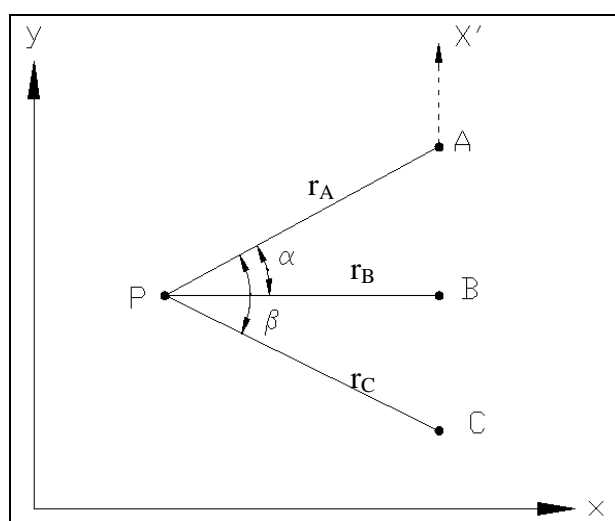


FIGURA 10 - MÉTODO DE RECESSÃO – MUDANÇA DE REFERENCIAL

FONTE: Adaptado de (KAHMEN; FAIG, 1988)

onde:  $r_A$ ,  $r_B$ ,  $r_C$  – direções horizontais medidas a partir de P;



A, B, C – estações de controle;  
 P – estação ocupada;  
 D – ponto objeto;  
 $\alpha, \beta$  – ângulos entre as estações.

### 3.2.1.1 Modelo matemático

As coordenadas do ponto P que se deseja determinar são calculadas em função das coordenadas conhecidas das três estações de controle: A, B e C (Figura 10) e das direções  $r_A, r_B$  e  $r_C$  medidas a partir de P (KAHMEN; FAIG, 1988).

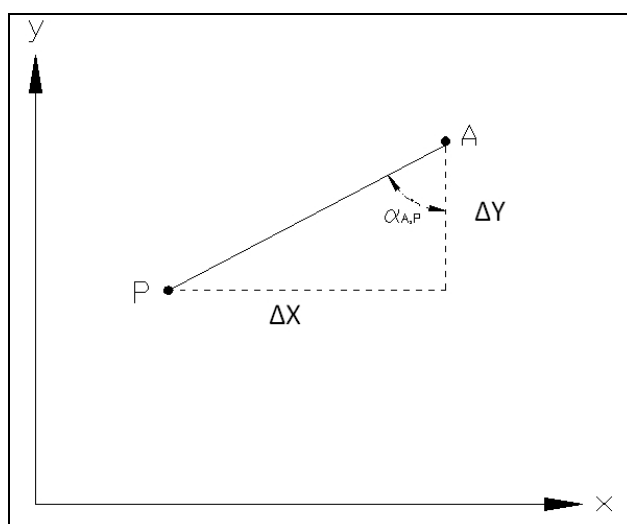


FIGURA 11 - DIREÇÃO P-A  
 FONTE: Adaptado de (KAHMEN; FAIG, 1988)

onde:  $\Delta X, \Delta Y$  – diferença entre as coordenadas de P e A;  
 $\alpha_{A,P}$  – ângulos entre as estações.

Da figura 11, pode-se deduzir:

$$\operatorname{tg} \alpha_{A,P} = \frac{X_P - X_A}{Y_P - Y_A} \quad (1)$$

ou seja,

$$X_P = X_A + (Y_P - Y_A) \operatorname{tg} \alpha_{A,P} \quad (2)$$

onde:

$X_P, Y_P$  – coordenadas do ponto P;

$X_A, Y_A$  – coordenadas da Estação A.

A coordenada  $X_P$  pode ser calculada em função das demais estações de forma análoga. Sendo assim:

$$\begin{aligned} X_P &= X_A + (Y_P - Y_A) \operatorname{tg} \alpha_{A,P} = X_B + (Y_P - Y_B) \operatorname{tg} \alpha_{B,P} \\ &= X_C + (Y_P - Y_C) \operatorname{tg} \alpha_{C,P} \end{aligned} \quad (3)$$

onde:

$X_B, Y_B$  – coordenadas da Estação B;

$X_C, Y_C$  – coordenadas da Estação C.

Para simplificar a Equação (3), as coordenadas e direções relativas serão definidas em função da Estação A.

$$\alpha = r_B - r_A \quad \text{e} \quad \beta = r_C - r_A \quad (4)$$

$$X_i - X_A = X'_i \quad \text{e} \quad Y_i - Y_A = Y'_i \quad (5)$$

$$\alpha_{B,P} = \alpha_{A,P} + \alpha \quad \text{e} \quad \alpha_{C,P} = \alpha_{A,P} + \beta \quad (6)$$

onde:

$r_A, r_B$  e  $r_C$  – direções observadas a partir do ponto P;

$\alpha$  - ângulo  $\widehat{APB}$ ;

$\beta$  - ângulo  $\widehat{APC}$ ;

Substituindo as equações (4), (5) e (6) na Equação (3), a mesma pode ser escrita por:

$$\begin{aligned} X'_P &= Y'_P \operatorname{tg} \alpha_{A,P} = X'_B + (Y'_P - Y'_B) \operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \alpha) \\ &= X'_C + (Y'_P - Y'_C) \operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \beta) \end{aligned} \quad (7)$$

A Equação (7) pode ser reescrita. Sendo:

$$Y'_P \operatorname{tg} \alpha_{A,P} = X'_B + (Y'_P - Y'_B) \operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \alpha)$$

então,

$$Y'_P \operatorname{tg} \alpha_{A,P} - Y'_P \operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \alpha) = X'_B - Y'_B \operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \alpha)$$

Assim,

$$Y'_P = \frac{X'_B + Y'_B \operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \alpha)}{\operatorname{tg} \alpha_{A,P} + \operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \alpha)} \quad (8)$$

Obtém-se de forma análoga a equação para o cálculo da coordenada  $Y'_P$ , em função da Estação C.

$$Y'_P = \frac{X'_C + Y'_C \operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \beta)}{\operatorname{tg} \alpha_{A,P} + \operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \beta)} \quad (9)$$

Sabe-se que:

$$\operatorname{tg}(u + v) = \frac{\operatorname{tg} u + \operatorname{tg} v}{1 - \operatorname{tg} u \operatorname{tg} v}$$

então,  $\operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \alpha)$  e  $\operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \beta)$  podem ser obtidas através das seguintes equações:

$$\operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \alpha) = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{A,P} + \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg} \alpha_{A,P} \operatorname{tg} \alpha} \quad (10)$$

e

$$\operatorname{tg}(\alpha_{A,P} + \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{A,P} + \operatorname{tg} \beta}{1 - \operatorname{tg} \alpha_{A,P} \operatorname{tg} \beta} \quad (11)$$

Substituindo as equações (10) ou (11) nas Equações (8) ou (9), respectivamente:

$$Y'_P = \frac{(X'_B + Y'_B \cotg \alpha) \operatorname{tg} \alpha_{A,P} + (Y'_B - X'_B \cotg \alpha)}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{A,P}} \quad (12)$$

ou

$$Y'_P = \frac{(X'_C + Y'_C \cotg \beta) \operatorname{tg} \alpha_{A,P} + (Y'_C - X'_C \cotg \beta)}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{A,P}} \quad (13)$$

A  $\operatorname{tg} \alpha_{A,P}$  não é conhecida. Ela pode ser obtida igualando-se as equações (12) e (13):

$$\frac{(X'_B + Y'_B \cotg \alpha) \operatorname{tg} \alpha_{A,P} + (Y'_B - X'_B \cotg \alpha)}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{A,P}} = \frac{(X'_C + Y'_C \cotg \beta) \operatorname{tg} \alpha_{A,P} + (Y'_C - X'_C \cotg \beta)}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{A,P}}$$

Portanto,

$$\operatorname{tg} \alpha_{A,P} = \frac{X'_B \cotg \alpha - X'_C \cotg \beta + (Y'_C - Y'_B)}{Y'_B \cotg \alpha - Y'_C \cotg \beta - (X'_C - X'_B)} \quad (14)$$

Finalmente, as coordenadas do ponto P podem ser calculadas da seguinte maneira:

$$X_P = X'_P + X_A \quad (15)$$

$$Y_P = Y'_P + Y_A \quad (16)$$

### 3.2.2 Irradiação

O método de Irradiação (Figura 12) pode ser utilizado para obtenção das coordenadas de pontos a serem monitorados, isto pode ser realizado empregando-se as estações totais que funcionam com laser, que não necessitam de um prisma refletor ou estações tradicionais, porém, neste caso, deve-se dispor de refletores posicionados na estrutura a ser monitorada (KAHMEN; FAIG, 1988).

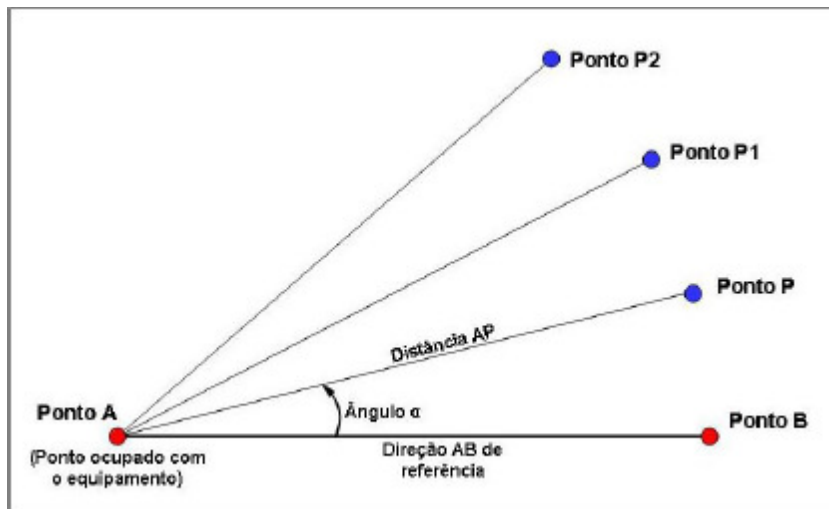


FIGURA 12 - PROCESSOS DE IRRADIAÇÃO  
FONTE: NEVES (2008)

Neste método, as coordenadas do ponto objeto ( $X_{Pi}$  e  $Y_{Pi}$ ) são calculadas a partir: de uma coordenada conhecida ( $X_A$  e  $Y_A$ ), de uma direção horizontal ( $h_z$ ), de um ângulo zenital ( $z$ ) e da distância inclinada ( $d$ ) contada da origem do sistema ao ponto considerado ou de uma coordenada conhecida ( $X_A$  e  $Y_A$ ), de uma direção horizontal ( $h_z$ ) e do azimuth contado do ponto onde o equipamento está estacionado até a direção considerada ( $Az$ ) :

$$X_{Pi} = X_A + d_{A-Pi} \cdot \sin z \cdot \sin h_z \quad \text{ou} \quad X_{Pi} = X_A + d_{A-Pi} \cdot \sin Az_{A-Pi} \quad (17)$$

$$Y_{Pi} = Y_A + d_{A-Pi} \cdot \sin z \cdot \cos h_z \quad \text{ou} \quad Y_{Pi} = Y_A + d_{A-Pi} \cdot \cos Az_{A-Pi} \quad (18)$$

Se os erros que afetam as observações são modelados com distribuições normais, independentes estocasticamente, e com desvios  $\sigma_{hz}$ ,  $\sigma_d$ , respectivamente, a fórmula de propagação das variâncias permite estabelecer a matriz de variância das coordenadas ( $\Sigma$ ):

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix} = J \cdot \begin{bmatrix} \sigma_d^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{h_z}^2 \end{bmatrix} J' \quad (19)$$

onde  $J$  é a matriz Jacobiana, matriz das derivadas parciais em relação aos parâmetros. A partir da Equação (19), chegam-se as seguintes equações que definem os elementos da matriz variância covariância das coordenadas:

$$\sigma_X^2 = \sigma_d^2 + \sin^2 Az_{A-Pi} + \sigma_a^2 \cdot d^2 \cdot \cos^2 Az_{A-Pi} \quad (20)$$

$$\sigma_Y^2 = \sigma_d^2 + \cos^2 Az_{A-Pi} + \sigma_a^2 \cdot d^2 \cdot \sin^2 Az_{A-Pi} \quad (21)$$

$$\sigma_{XY} = \frac{1}{2} (\sigma_d^2 - \sigma_a^2 \cdot d^2) \sin (2 \cdot Az_{A-Pi}) \quad (22)$$

Na propagação, portanto, as covariâncias dos elementos observados se propagam às grandezas derivadas por meio do modelo funcional que relaciona as observações com os parâmetros a serem estimados (RAMOS et al.,2007).

Segundo Rodrigues (2007), após estimar as posições de pontos, por meio de suas coordenadas, e as suas precisões, por meio da matriz variância covariância das coordenadas estimadas, parte-se para a representação gráfica tanto da posição relativa dos pontos quanto de suas precisões.

A representação gráfica da precisão da posição de um ponto em duas dimensões pode ser feita pela elipse de erros, no plano formado pelas dimensões em questão. A figura abaixo mostra formas de representar graficamente a precisão da posição de um ponto para os níveis de confiança de 39,4% (conhecido como “um sigma”) e 95%, de acordo com a distribuição de qui-quadrado (RAMOS et al.,2007).

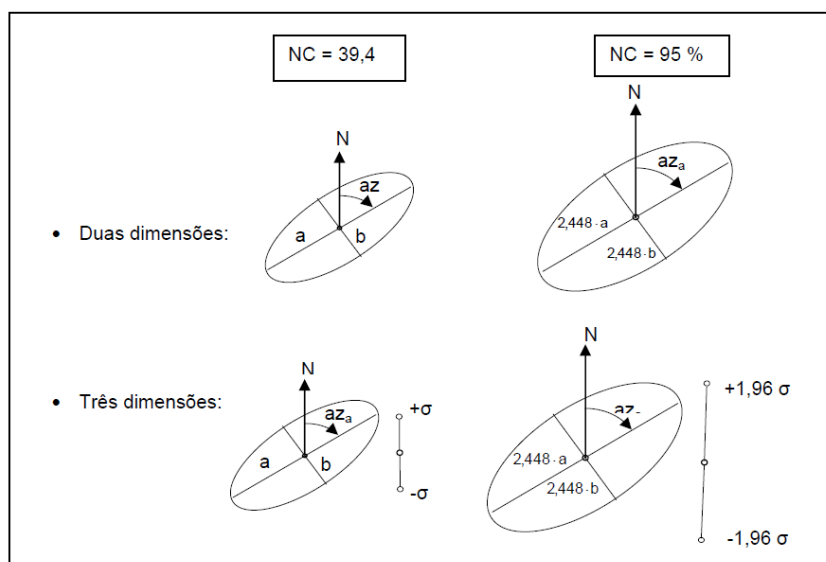


FIGURA 13 – FORMAS DE REPRESENTAR GRAFICAMENTE A PRECISÃO DA POSIÇÃO DE UM PONTO.

FONTE: RODRIGUES (2007)

De acordo com Rodrigues (2007), a elipse de erros em um determinado ponto pode ser traçada a partir dos seguintes elementos: semi-eixo maior, 'a', semi-eixo menor, 'b', e azimuth da direção do semi-eixo maior  $az_a$ . Esses elementos são calculados em função das variâncias e covariâncias das coordenadas do ponto empregando as seguintes equações:

$$a^2 = \frac{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + M)}{2} \quad (23)$$

$$b^2 = \frac{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - M)}{2} \quad (24)$$

$$2az_a = \arctg \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y^2 - \sigma_x^2} \quad (25)$$

$$M^2 = 4\sigma_{xy}^2 + (\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 \quad (26)$$

Para um nível de 95% basta multiplicar os elementos a e b por 2,448.

### 3.2.3 Análise de Deslocamentos

A precisão, versatilidade e capacidade para verificação e análise da precisão fazem com que as medidas obtidas com levantamentos utilizando equipamentos como estações totais, tornem-se uma opção no monitoramento de deslocamentos (CHEN, 1983). Entretanto, muitos fatores afetam a acurácia das medições com uma estação total, e por sua vez, causam influência na análise de possíveis deslocamentos. A discussão de alguns destes fatores será apresentada a seguir.

#### 3.2.3.1 Ajustamento de observações

Ao se determinar o valor de grandezas físicas, certos fatores tais como limitação humana, imperfeição dos instrumentos e instabilidade das condições

ambientais contribuem, inevitavelmente, para imperfeições das observações. Assim, dúvidas no resultado de uma medição induzem a necessidade de repetição de observações, sempre que se desejar uma medida confiável. Desta forma, obtêm-se medições redundantes e discrepantes que geram um problema a ser resolvido; ou seja, extrair destas observações um resultado único que represente com confiança a grandeza medida.

O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) é atualmente o método aceito pela Geodésia como critério mais adequado para o ajustamento de observações repetidas. Esse método consiste em aceitar como melhor estimativa das observações redundantes o valor que torne mínima a soma dos quadrados dos resíduos (GEMAEL, 1994).

O ajustamento pelo MMQ pode ser feito utilizando modelos diferentes: o Modelo Paramétrico ou o Modelo dos Correlatos (ou Condicional), ou ainda pela combinação desses dois modelos (Modelo Combinado).

O modelo paramétrico fundamenta-se na estimativa da variação dos parâmetros desconhecidos para obter esses mesmos parâmetros ajustados, ao fim do processo de compensação. Uma vantagem desse modelo é que as grandezas observadas são expressas em função dos parâmetros desconhecidos (incógnitas), que são as próprias coordenadas, no caso de redes em geral. Assim, a ligação das observações corrigidas ao sistema de referência é feita de maneira integrada durante o processo de ajustamento (DUPRAZ, 1985).

Para calcular as coordenadas ajustadas da estação ocupada pelo MMQ empregando-se a Recessão é necessário observar mais de três direções, para tanto, no mínimo quatro pontos de controle devem ser observados. As direções  $r_i$  são medidas do ponto ocupado para esses quatro pontos fixos.

Cada medida de direção provê uma equação de observação:

#### 1) Modelo Matemático Funcional

$$\alpha_i = \arctg \frac{x_i - x_0}{y_i - y_0} \quad (27)$$

#### 2) Modelo Matemático Linearizado

$$AX - L = V \quad (28)$$



$$v_i = a_{i1} dx + a_{i2} dy - L_i \quad (29)$$

### 3) Vetor das Observações (L)

$$L = r_i - \alpha_i^0, \quad (30)$$

sendo:

$$\alpha_i^0 = \arctg \frac{x_0 - x_i}{y_0 - y_i} \quad (31)$$

### 4) Matriz das derivadas parciais (A)

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial \alpha_1}{\partial X_0} & \frac{\partial \alpha_1}{\partial Y_0} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \alpha_i}{\partial X_0} & \frac{\partial \alpha_i}{\partial Y_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{i1} & a_{i2} \\ \vdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} \end{bmatrix} \quad (32)$$

onde:

$$a_{i1} = \frac{y_0 - y_i}{(s_i^0)^2} \frac{180}{\pi} \quad e \quad a_{i2} = \frac{-x_0 + x_i}{(s_i^0)^2} \frac{180}{\pi} \quad (33)$$

$$(s_i^0)^2 = (x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 \quad (34)$$

Onde : V - vetor dos resíduos;

$a_{i1}$  e  $a_{i2}$  - derivadas parciais em relação aos parâmetros;

L - vetor das observações;

$s_i^0$  - distância entre a estação ocupada e as estações de controle;

$x_0, y_0$  - coordenadas da estação ocupada;

$x_i, y_i$  - coordenadas das estações de controle;

dx, dy - parâmetros.

Após definir o vetor de observações (L) e a matriz das derivadas parciais (A), o próximo passo consiste em calcular os parâmetros (X), para tanto, considera-se a matriz peso (P) como sendo a matriz identidade:

$$X = N^{-1}U \quad N = "PA \quad U = A'PL \quad (35)$$

Após o ajustamento pode-se estimar o valor da variância a posteriori  $\sigma_0^2$  em função dos resíduos, do número de equações (n) e do número de incógnitas (u):

$$\sigma_0^2 = \frac{V'PV}{n - u} \quad (36)$$

Finalmente, as coordenadas ajustadas da estação ocupada ( $X_P$ ,  $Y_P$ ) serão dadas pela seguinte equação:

$$X_P = X_o + dx \quad (37)$$

$$Y_P = Y_o + dy \quad (38)$$

Adicionalmente, pode-se determinar a precisão de alguns elementos utilizados no ajustamento, tais como: precisão dos parâmetros estimados  $\Sigma XA$  e a precisão dos resíduos  $\Sigma V$ .

$$\Sigma XA = \sigma_0^2 N^{-1} \quad (39)$$

$$\Sigma V = \sigma_0^2 \left( (A \cdot N^{-1} A') - P^{-1} \right) \quad (40)$$

### 3.2.3.2 Erros Grosseiros/*Outliers*

As observações apresentam flutuações probabilísticas, pois, quando se repete a medida de uma grandeza, os vários valores não são idênticos, mas dispersos numa certa região ou intervalo. Essas flutuações, tradicionalmente, são classificadas como erros aleatórios. Além dos erros aleatórios, as observações podem estar contaminadas pelos erros sistemáticos e grosseiros (GEMAEL, 1994). Do ponto de vista estatístico, observações com erros grosseiros não podem ser

consideradas como pertencentes à amostra, não podendo ser usadas com as outras observações. Desta forma, é importante dispor de técnicas para a detecção e identificação de erros grosseiros nas observações (TEUNISSEN, 2000).

A localização de possíveis erros embutidos nas observações é realizada por meio de testes estatísticos, como exemplos: utiliza-se o Teste Global com o propósito de verificar a compatibilidade das observações com o modelo matemático (funcional e estocástico) empregado, isto é, na análise da qualidade do modelo. A estatística do teste para a  $i$ -ésima observação é dada pelo teste *Data Snooping* de Baarda (BAARDA, 1968), que tem como objetivo principal a localização de possíveis erros nas observações.

Segundo Moraes (2001), o conceito de confiabilidade vincula a detecção dos erros grosseiros, que podem comprometer os resultados, às observações geodésicas. A teoria da confiabilidade serve para a decisão se um erro é detectável e qual influência tem o erro não-detectável nos resultados do ajustamento. Portanto é parte de um conceito para a avaliação da qualidade do resultado do ajustamento. Os erros que não foram eliminados das observações ocasionam a alteração dos resultados. Por isso são necessárias medidas que representem o quanto as observações são confiáveis. A essas medidas dá-se o nome de medidas de confiabilidade.

O conceito de medidas de confiabilidade introduzido por Baarda (1968) se subdivide em confiabilidade interna e confiabilidade externa. A primeira quantifica a menor porção do erro  $\nabla l_i$  existente na observação que pode ser localizado com uma dada probabilidade. A segunda quantifica a influência dos erros não-detectáveis nas coordenadas dos pontos.

### 3.2.3.2.1 Teste Global ou Qui-Quadrado

A avaliação do modelo estocástico é dada pela variância da observação de peso a *posteriori*, obtida por (GEMAEL, 1994):

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{n - u} \quad (41)$$

onde:

- V - vetor dos resíduos;
- P - matriz dos pesos;
- n - número de equações;
- u - número de incógnitas,

e, em que a quantidade  $n - u = S$ , é chamada graus de liberdade ou número de observações superabundantes. Esta variância a *posteriori* calculada deve ser comparada com a variância a *priori* (estimada normalmente como unitária), mediante testes estatísticos, dos quais o mais usado é o de Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ), também conhecido como Teste Global.

Na aplicação do teste de  $\chi^2$  supõem-se uma hipótese  $H_0$ , que se contrapõe a uma hipótese alternativa  $H_1$ . A hipótese  $H_0$ , denominada por hipótese nula, pode ser rejeitada ou não ser rejeitada, considerando um determinado nível de significância  $\alpha$ .

Se a variância a *priori* e a variância a *posteriori* ( $\sigma_0^2$  e  $\hat{\sigma}_0^2$ ), forem estatisticamente iguais, dentro de um certo nível de significância  $\alpha$ , diz-se que a qualidade do ajustamento é boa, se houver discrepância significativa, dentro desse mesmo nível de confiança  $1-\alpha$ , isso indica que existem problemas no ajustamento (GEMAEL, 1994).

A forma quadrática  $V^T \Sigma_{Lb}^{-1} V$  tem distribuição de  $\chi^2$  com  $S = r$  graus de liberdade, isto é:

$$V^T \Sigma_{Lb}^{-1} V \sim \chi^2(r) \quad (42)$$

onde,  $\Sigma_{Lb}$  é a matriz variância-covariância dos valores observados.

Logo:

$$\frac{V^T P V}{\sigma_0^2} \sim \chi^2(r) \text{ ou } \frac{\hat{\sigma}_0^2 S}{\sigma_0^2} \sim \chi^2(v) \quad (43)$$

Testa-se a hipótese básica:

$$H_0 : \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$$

contra a hipótese alternativa:

$$H_1 : \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$$

A decisão sobre a aceitação ou rejeição da hipótese  $H_0$ , é feita pela comparação da estatística de teste, obtida pela Equação (29), com a estatística teórica, denominada por  $\chi_{\text{teórico}}^2$ , obtida por meio de tabelas estatísticas ou de programas computacionais.

Valor calculado:

$$\chi_{\text{calculado}}^{*2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} r = \frac{V^T P V}{\sigma_0^2} \quad (44)$$

Valor teórico:

$$\chi_{v, \frac{\alpha}{2}}^2 \text{ e } \chi_{v, 1-\frac{\alpha}{2}}^2$$

A hipótese básica não é rejeitada, ao nível de significância  $\alpha$ , se:

$$\chi^{*2} < \chi_{v, 1-\frac{\alpha}{2}}^2 \quad (45)$$

ou seja, se  $\chi_{\text{calculado}}^{*2} \leq \chi_{\text{teórico}}^2$ , a hipótese  $H_0$  para o caso unilateral não é rejeitada, com probabilidade de tomada da decisão correta igual ao nível de confiança de  $(1-\alpha)$ , onde  $\alpha$  é o nível de significância fixado (GEMAEL, 1994).

Ao se aplicar o teste, deve-se escolher, a priori, um nível de significância, o qual corresponde à probabilidade de erro que se admite rejeitar uma hipótese  $H_0$  verdadeira.

Se a hipótese  $H_0$  for rejeitada, significa que há problemas no ajustamento. Assim, uma análise deve ser feita para verificar as possíveis razões ou circunstâncias que levaram à falha do teste, dentre as quais deve-se verificar se o modelo funcional é adequado à realidade física; se o modelo estocástico é apropriado; se não existem erros grosseiros ou sistemáticos no processo de ajustamento; se o sistema não é mal condicionado e se não existe erro de cálculo no processo de ajustamento (GEMAEL, 1994) .

### 3.2.3.2.2 Teste *Data Snooping*

O teste *Data Snooping* pode ser definido como a investigação em relação à observação na qual um erro grosseiro foi cometido durante a medição (MORAES, 1998). Ele é frequentemente usado para analisar dados obtidos após o ajustamento de uma rede geodésica. Baarda (1968) propôs o teste *Data Snooping* para localização de erros grosseiros examinando os resíduos obtidos do ajustamento.

Para observações não correlacionadas, o teste *Data Snooping* é avaliado pela estatística (KUANG, 1996):

$$n_i = \frac{v_i}{\sigma_{v_{ii}}} \approx N(0,1). \quad (46)$$

onde  $v_i$  e  $\sigma_i$  são, respectivamente, o resíduo e o desvio padrão do resíduo referente a  $i$ -ésima observação.

Para um dado nível de significância  $\alpha$ , a estatística dada pela Equação (46) é comparada com o valor crítico  $k$  a um nível de significância específico. Faz-se o seguinte teste de hipótese:

Hipótese nula  $H_0$  : não existe erro grosseiro na observação.

Hipótese alternativa  $H_1$  : existe erro grosseiro na observação.

A hipótese nula é rejeitada se:

$$|n_i| > k, \quad (47)$$

ou seja, é localizado um erro grosseiro na i-ésima observação.

Para o teste *Data Snooping*, a suposição fundamental é que as observações contaminadas por erros grosseiros resultam em resíduos padronizados de magnitudes significativamente altas (MARQUES, 1994).

Os testes Global e *Data Snooping* requerem o conhecimento da precisão das observações. Existem casos em que se tem um conjunto de observações para ajustar, e que a precisão das observações não é conhecida. Nestes casos, após o ajustamento não é realizado o teste Global nem o *Data Snooping*, mas sim o teste *Tau*, que é uma adaptação do teste *Data Snooping* com vistas a se adequar a tal situação (KUANG, 1996).

### 3.2.3.2.3 Teste Tau ( $\tau$ )

O teste Tau, proposto por Pope em 1976, é dado por (KUANG, 1996):

$$\tau_i = \frac{v_i}{\sigma_{v_{ii}}} = \frac{v_i}{\sigma_0 \sqrt{q_{v_{ii}}}}, \quad (48)$$

onde  $v_i$  e  $\sigma_i$  são, respectivamente, o resíduo e o desvio padrão do resíduo referente a i-ésima observação.

A hipótese nula proposta para essa distribuição, correspondente ao grau de liberdade S é:

$$H_0 : \tau_i \sim \tau(S) \quad (49)$$

Matematicamente, esse teste é uma estatística multi-variada uma vez que os resíduos são utilizados para a estimação de  $\sigma_{v_{it}}$  a partir de  $\sigma_0^2$ . Definido o nível de significância  $\alpha$ , a estatística  $\tau_i$  destacará um *outlier*, se:

$$|\tau_i| > \tau_{\frac{\alpha}{2}} \quad , \quad (50)$$

onde o valor crítico  $\tau_{\frac{\alpha}{2}}$  pode ser calculado de acordo com a sua relação com a distribuição t-Student da seguinte forma (KUANG, 1996):

$$\tau_{\frac{\alpha}{2}}(S) = \frac{\sqrt{S} t_{S-1, \frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{S - 1 + t_{S-1, \frac{\alpha}{2}}^2}} \quad , \quad (51)$$

onde  $t_{S-1, \frac{\alpha}{2}}$ , é o desvio da distribuição t-Student para o nível de significância  $\frac{\alpha}{2}$  e grau de liberdade (S-1).

Leick (2004), diz ser importante entender que se o resíduo não passa no teste Tau, não significa que exista um erro naquela observação. Se a observação é destacada, ou seja, se existe algum problema, pode-se fazer exames futuros e decidir sobre a rejeição desta, pois um erro significativo usualmente afeta os resíduos em outras observações.

Os testes Global, *Data Snooping* e *Tau* são adequados para as análises pós-ajustamento, detectando e localizando os possíveis erros, porém estes testes não indicam se os erros detectados e localizados são significativamente influentes nos resultados da rede. Tais erros ocasionam a alteração dos resultados, alterando as coordenadas dos pontos da rede. Desta forma, torna-se necessário a utilização dos testes para indicar o quanto as observações são confiáveis.



### 3.3 INSTRUMENTAÇÃO

Foram utilizados dois tipos de instrumentação os sensores meteorológicos, que são necessários para a correção dos efeitos atmosféricos nas medidas de distância e as estações totais (Figura 14). A descrição sobre estações totais já foi apresentada no item 2.1.2. Os modelos empregados nesta pesquisa foram: estação total TOPCON 3007, cuja precisão angular é de  $\sigma_a = 3''$  (três segundos de arco) e na medida linear é  $\sigma_D = 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ ; classificada segundo a NBR 13.133 como uma estação de média precisão; e estação total TC 403L, com precisão angular de  $\sigma_a = 10''$  (dez segundos de arco) e na medida linear de  $\sigma_D = 3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$ , classificada segundo a NBR 13.133/1994 como uma estação de precisão baixa para a aplicação.



FIGURA 14 - INSTRUMENTOS UTILIZADOS

FONTE: O autor (2011)

De acordo com Faggion (2001), a velocidade de propagação da luz utilizada para determinar a distância entre dois pontos é a velocidade de propagação da luz no vácuo, tendo em vista que é a única passível de ser determinada por procedimentos físicos. Porém, nos trabalhos de levantamentos interessa a velocidade de propagação da luz onde está sendo realizada a medição. Para efetuar esta transformação, os fabricantes dos Medidores Eletrônicos de Distância (MED)

determinam o índice de refração em laboratório. Mesmo assim, continua sendo necessária a medida de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica no momento das observações, e com estes parâmetros realiza-se a correção particular para o local da operação, portanto, torna-se imprescindível a utilização de sensores meteorológicos.

### 3.3.1 Correções Atmosféricas - Fórmulas Adotadas pela IUGG

As correções atmosféricas podem ser calculadas por outras fórmulas, tais como as adotadas pela IUGG, citadas em Rüeger (1996). Onde a correção é dada por:

$$d = \left( \frac{n_R}{n_L} \right) d_M \quad (52)$$

onde:  $d$  - distância corrigida;  
 $n_L$  - índice de refração do ambiente;  
 $n_R$  - índice de refração de referência;  
 $d_M$  - distância medida

A redução é essencialmente uma aplicação do fator de escala  $n_R/n_L$  para a distância medida. O fator de escala relaciona o índice de refração de referência do instrumento com o índice de refração baseado nas condições atmosféricas ambientes. O índice de refração do ambiente ( $n_L$ ) é dado por:

$$n_L = 1 + \left[ \frac{(A + B)}{1.10^8} \right] \quad (53)$$

sendo:

$$A = \left\{ \left[ 1646386,0 \cdot \left( \frac{238,0185 + \sigma^2}{(238,0185 - \sigma^2)^2} \right) \right] + \left[ 47729,9 \cdot \left( \frac{57,362 + \sigma^2}{(57,362 - \sigma^2)^2} \right) \right] \right\} \cdot D_s \quad (54)$$

$$B = [6487,31 + 174,174\sigma^2 - 3,55750\sigma^3 + 0,61957\sigma^6] \cdot D_w \quad (55)$$

$$D_S = \left( \frac{P_S}{T} \right) \cdot \left[ 1 + P_S \cdot \left( 57,90 \cdot 10^{-8} - \left( \frac{9,325 \cdot 10^{-4}}{T} \right) + \left( \frac{0,25844}{T^2} \right) \right) \right] \quad (56)$$

$$D_W = \left( \frac{P_W}{T} \right) \left[ 1 + P_W \left( 1 + \left( 3,7 \cdot 10^{-4} P_W \right) \right) \left( -2,37321 \cdot 10^{-3} + \left( \frac{2,23366}{T} \right) - \left( \frac{710,792}{T^2} \right) + \left( \frac{7,75141 \cdot 10^{-4}}{T^3} \right) \right) \right] \quad (57)$$

onde:  $\sigma$  -  $1/\lambda$ ;  
 $\lambda$  - comprimento de onda empregado no instrumento;  
 $P$  - pressão atmosférica em mbar;  
 $P_W$  - pressão do vapor d'água parcial em mbar;  
 $P_S$  -  $P - P_W$ ;  
 $T$  - Temperatura em Kelvin

O valor do índice de refração de referência  $n_R$  é obtido das especificações do fabricante para uma estação total dada. A pressão do vapor d'água ( $P_W$ ) também é necessária para a determinação do índice de refração, pode ser derivada de leituras de temperatura seca e úmida coletadas com psicrômetros:

$$P_W = \left( \left( 1,0007 + \left( 3,46 \cdot 10^{-6} \right) \cdot P \right) \cdot 6,1121 \exp \left( \frac{17,502 \cdot t_W}{240,97 \cdot t_W} \right) \right) - \left[ \left( 0,000662 \cdot P \cdot (t_D - t_W) \right) \right] \quad (58)$$

onde:

$P$  - pressão em mbar;  
 $t_W$  - temperatura úmida ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $t_D$  - temperatura seca ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Neste trabalho optou-se por utilizar as fórmulas adotadas pela IUGG para correção dos parâmetros atmosféricos.

### 3.4 COMUNICAÇÃO E TRANSMISSÃO DE DADOS

Como mencionado anteriormente, optou-se pelo uso de estações totais convencionais no projeto do sistema para monitoramento. Duas opções são possíveis para a alimentação do sistema com as observações de campo: a digitação das informações e ou a conexão direta do equipamento com o sistema. Para este segundo caso é necessário o desenvolvimento de uma interface que faça a conexão do equipamento de medida com o computador. Esta segunda hipótese é mais interessante do ponto de vista prático, pois diminui substancialmente o tempo na coleta de dados e evita erros.

O movimento da informação computacional de um ponto a outro, por meio de sistemas de transmissão elétricos ou ópticos, constitui a comunicação de dados (GERALD; DENNIS, 2005). A função de qualquer sistema de comunicação é fornecer a maior taxa de transmissão possível, com a menor potência e com o menor ruído aceitável.

Suas aplicações podem ser divididas em três grandes grupos:

- a) Comunicação entre dois microcomputadores, conhecida como comunicação micro-micro;
- b) Acesso aos serviços públicos;
- c) Comunicação com computadores de grande porte.

A comunicação micro-micro é utilizada nesse trabalho, pois as estações totais podem ser consideradas microcomputadores, visto que possuem processadores internos e sistemas operacionais próprios.

Já a transmissão de dados esta pode ser realizada de forma analógica ou digital. Na transmissão analógica os sinais elétricos variam continuamente entre todos os valores possíveis permitidos pelo meio de transmissão. Entretanto, na transmissão digital os sinais elétricos que representam as informações assumem valores de amplitude pré-determinados no tempo.

As formas de transmissão se subdividem da seguinte maneira (PEREIRA, 2002):

- a) Transmissão Paralela - a vantagem desse dispositivo é que a transmissão é mais rápida, devido à transferência simultânea de todos os bits que compõem o byte. Esse método de transmissão é utilizado

nas ligações internas do computador e nas ligações entre computadores e periféricos muito próximos. Nos casos de transmissão envolvendo distâncias maiores, esse método de transmissão é inadequado em virtude da quantidade de fios que seriam necessários além, é claro, do seu custo ser elevado;

- b) Transmissão serial - a vantagem desse dispositivo se concentra no alcance de distâncias mais longas e na utilização de quantidades menores de fios. A sua transferência é dada sequencialmente *bit a bit*, através de uma única linha de dados, isto é, cada bit que compõe um byte é transmitido em sequência, um após o outro, com isso a velocidade de transmissão é mais lenta.

O canal de comunicação é definido como um meio eletrônico, sendo este estabelecido entre o computador e o periférico. A sua finalidade é transportar a informação de um ponto para outro e este transporte pode ser feito de três maneiras (NETO, 1993):

- a) *Simplex* - a transmissão da informação se dá sempre no mesmo sentido, ou seja, um sinal flui sempre do computador para o periférico ou o contrário;
- b) *Half Duplex* - a transmissão da informação se dá nos dois sentidos, o computador ora transmite para o terminal e ora recebe a informação do mesmo;
- c) *Full Duplex* - a transmissão da informação ocorre nos dois sentidos simultaneamente.

O modo de operação a ser utilizado será o *Simplex*, sendo empregado no processo de envio de informações entre o instrumento de medição e o computador (Figura 15), visto que o sistema somente receberá as observações do equipamento de medida não tendo função de controlar o mesmo.



FIGURA 15 – COMUNICAÇÃO ENTRE A ESTAÇÃO TOTAL E O COMPUTADOR

FONTE: SHIBAYAMA (2007).

### 3.5 PROGRAMA SAM – SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO TOPOGRÁFICO

Antes de se iniciar o desenvolvimento, ou programação propriamente dita de um aplicativo (programa), deve-se ter em mente os aspectos envolvidos neste projeto, ou seja, as necessidades e o propósito do programa, para que não haja desperdício de tempo e de recursos (NADAL, 2008).

Segundo Carvalho (2001), existem três atividades fundamentais, comuns a todos os processos de construção de programas, a saber:

- a) Desenvolvimento: as funcionalidades e as restrições relativas à operacionalidade do produto são especificadas, e o programa é produzido de acordo com essas especificações;
- b) Validação: o produto, programa, é validado para garantir que ele faça exatamente o que o usuário deseja;
- c) Manutenção: o programa sofre correções, adaptações e ampliações para corrigir erros encontrados após a entrega do produto, atender os novos requisitos do usuário e incorporar mudanças na tecnologia.

Levando em consideração tais fundamentos, definiu-se o projeto do programa. O mesmo foi desenvolvido, na Linguagem *Borland Delphi 7.0*, em módulos (Figura 16), cada qual responsável por um dos processos definidos a

seguir:

- a) Aquisição de dados - Recessão;
- b) Banco de Dados;
- c) Recessão:
  - 1) Processamento e Análise dos dados;
  - 2) Irradiação:
    - 2.1) Aquisição de dados;
    - 2.2) Processamento e análise;
    - 2.3) Representação gráfica;
    - 2.4) Relatório;
  - 3) Representação Gráfica;
  - 4) Relatório.

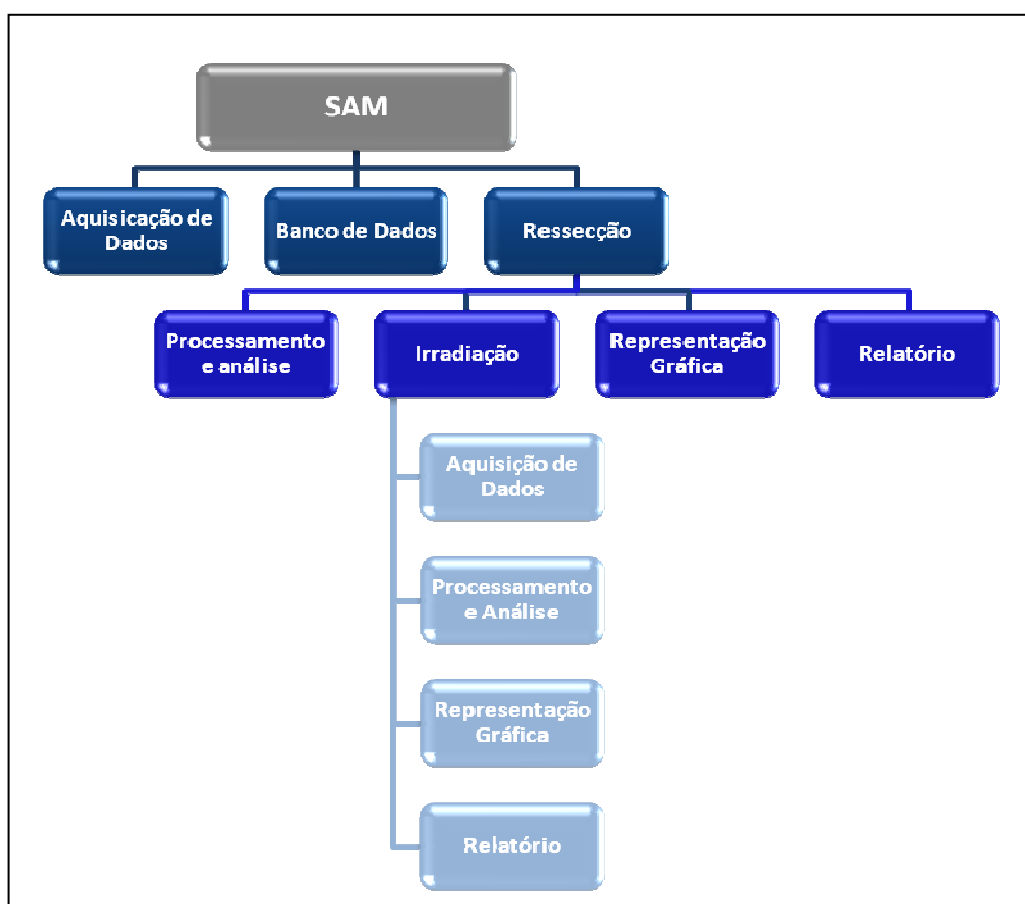


FIGURA 16 – FLUXOGRAMA DOS MÓDULOS DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO

FONTE: O autor (2011)

A seguir serão esboçadas algumas considerações no desenvolvimento do programa de monitoramento. Cabe salientar que o programa não gerenciará a coleta

de dados, as medidas deverão ser executadas pelo operador, o programa receberá, armazenará e processará os dados, sendo os resultados apresentados na forma de relatórios e gráficos.

### 3.5.1 Módulo de Aquisição de dados

Este módulo (Figura 17) é responsável pela aquisição de dados obtidos durante o monitoramento topográfico. É o módulo principal do programa, pois é por meio deste que todas as observações podem ser coletadas e armazenadas para posterior processamento e análise.

Mas, para que o programa possa receber e armazenar as observações é necessário realizar a configuração dos parâmetros de comunicação: porta serial, *baud rate*, *data bits*, *parity* e *stop bits*, da estação total, bem como do computador. Estas informações deverão ser idênticas, só assim a conexão será possível entre os dois periféricos.

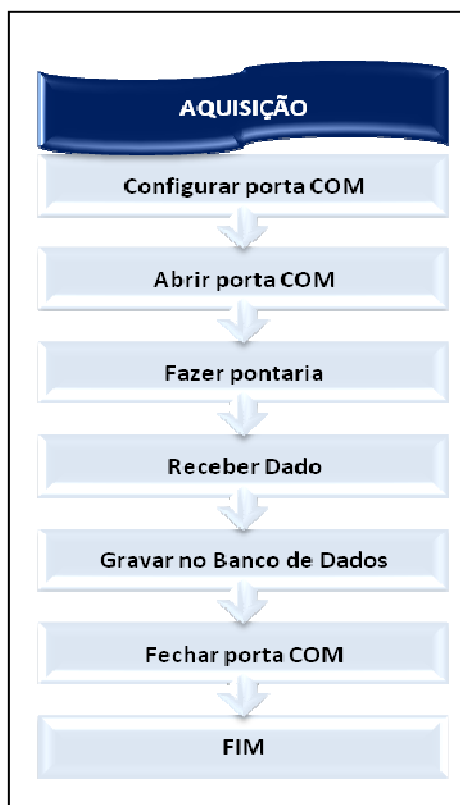


FIGURA 17 – FLUXOGRAMA DO MÓDULO DE AQUISIÇÃO DE DADOS  
FONTE: O autor (2011)



Com os dois equipamentos configurados, a porta de comunicação pode ser aberta, os pontos podem ser observados e, por conseguinte, o recebimento das observações poderá ser realizado. Cabe salientar que o programa está configurado para o recebimento de códigos no formato especificado pela fabricante do equipamento. Neste caso utilizou-se a estação total Leica TC 403L, e o formato empregado é o *Geo Serial Interface* (GSI), mais especificamente o GSI 8 (Figura 18). Faz-se necessário destacar que cada fabricante de estações totais possui sua própria formatação dos dados (ou protocolo). Assim, optou-se pelo desenvolvimento de uma interface para o módulo da estação disponível no Laboratório de Topografia da UFPR.

110011+00000010	21.124+10022220	22.104+08904090	31...0+00029650	51..0.+0000+000	87..00+00001500	88..00+00000000
110012+00000011	21.124+09201480	22.104+08936080	31...0+00027804	51..0.+0000+000	87..00+00001500	88..00+00000000
110013+00000012	21.124+09239340	22.104+09002440	31...0+00023306	51..0.+0000+000	87..00+00001500	88..00+00000000
110014+00000013	21.124+07444580	22.104+08934160	31...0+00034871	51..0.+0000+000	87..00+00001500	88..00+00000000
110015+00000014	21.124+07848520	22.104+08933520	31...0+00030591	51..0.+0000+000	87..00+00001500	88..00+00000000
110016+00000015	21.124+07818210	22.104+09013560	31...0+00023157	51..0.+0000+000	87..00+00001500	88..00+00000000
110017+00000016	21.124+25135120	22.104+09004010	31...0+00029198	51..0.+0000+000	87..00+00001500	88..00+00000000
110018+00000017	21.124+24114290	22.104+08955280	31...0+00034002	51..0.+0000+000	87..00+00001500	88..00+00000000

Caractere Separador (espaço em branco)

Carriage Return / Line Feet

FIGURA 18 – EXEMPLOS DE DADOS NO FORMATO GSI 8

FONTE: SHIBAYAMA (2007)

O GSI 8, possui 16 caracteres que compõem a palavra (Figura 19), onde os 7 primeiros são caracteres de informação, 8 posteriores são caracteres efetivamente de dados e 1 caractere separador.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	POSIÇÃO
WI	WI	.	.	.	.	+	1	2	3	4	5	6	7	8		
	Indice		Informação					Dados								
	Word Index		Relativa ao													Caracter
			Dado													Separador

FIGURA 19 – COMPOSIÇÃO DA PALAVRA NO FORMATO GSI 8

FONTE: SHIBAYAMA (2007)

O programa deve receber o código enviado pelo equipamento e armazenar as informações no banco de dados. São armazenados o nome do ponto, direção

horizontal, ângulo zenital, distância inclinada. Em levantamentos realizados em posição direta (PD) e inversa da luneta (PI) o programa reconhece automaticamente o tipo de observação e armazena no respectivo campo, dentro do banco de dados, sendo este composto por tabelas.

Neste módulo são coletadas apenas observações referentes ao Método de Recessão. O processo de aquisição de pontos irradiados (pontos objeto) é realizado dentro do módulo irradiação seguindo os mesmos passos.

### 3.5.2 Módulo de Banco de Dados

Bancos de dados podem ser entendidos como locais para armazenar informações, sendo que estes locais podem ser tabelas co-relacionadas ou simples tabelas de dados.

No SAM as observações coletadas em campo são armazenadas no banco de dados, isto é, cada observação é automaticamente armazenada em uma das tabelas do banco de dados no momento de sua aquisição, informações tais como: direções horizontais, ângulos zenitais, distâncias inclinadas, série de medição, época, hora, data e demais informações sobre o levantamento em questão.

Sendo assim, verificou-se a necessidade de um módulo (Figura 20) que permitisse a conferência, edição ou verificação dessas observações coletadas, para tanto, foi criado o módulo banco de dados.

Nesse, o acesso a essas observações é feito por meio da busca por nome do ponto de interesse e/ou época. Definidas estas informações o mesmo faz uma varredura em seus dados e retorna valores, tais como: direções, ângulos, distâncias. Ainda nesse módulo é possível realizar a edição e/ou remoção de pontos e inclusão de informações sobre o levantamento.



FIGURA 20 – FLUXOGRAMA DO MÓDULO DE BANCO DE DADOS

FONTE: O autor (2011)

### 3.5.3 Módulo de Recessão

O método de Recessão permite a determinação das coordenadas de um ponto (estação ocupada) em função de medidas realizadas, a partir desse ponto que se deseja conhecer, a três pontos (mínimo) ou quatro, quando se deseja realizar o ajustamento das observações.

Para que as coordenadas da estação ocupada possam ser determinadas, uma série de procedimentos deve ser realizada:

- a) verificação das observações; observando se as mesmas atendem ou não as tolerâncias pré-estabelecidas para a medição;
- b) no caso da realização de séries, o cálculo da média e desvio-padrão;
- c) cálculo das coordenadas da estação ocupada pela aplicação do modelo matemático utilizado no método de Recessão;
- d) ajustamento e aplicação de testes estatísticos para avaliar a qualidade dos resultados.

O módulo Recessão é responsável por todas essas etapas, isto é, processamento e análise dos dados, geração de gráficos e relatórios, elementos que auxiliarão nas avaliações e tomadas de decisão.

Em virtude disso, algumas informações devem ser inicialmente fornecidas. Devem ser especificadas a tolerância do par conjugado, bem como, a precisão das direções horizontais e dos ângulos verticais/zenitais. Além disso, deve-se informar o

ponto de ré a ser utilizado no cálculo da Recessão.

### 3.5.3.1 Processamento e análise

As observações são avaliadas de forma automática e análise de deslocamento é obtida em tempo real. Para tanto, os seguintes passos devem ser executados no que diz respeito ao processamento e análise das mesmas (Figura 21):

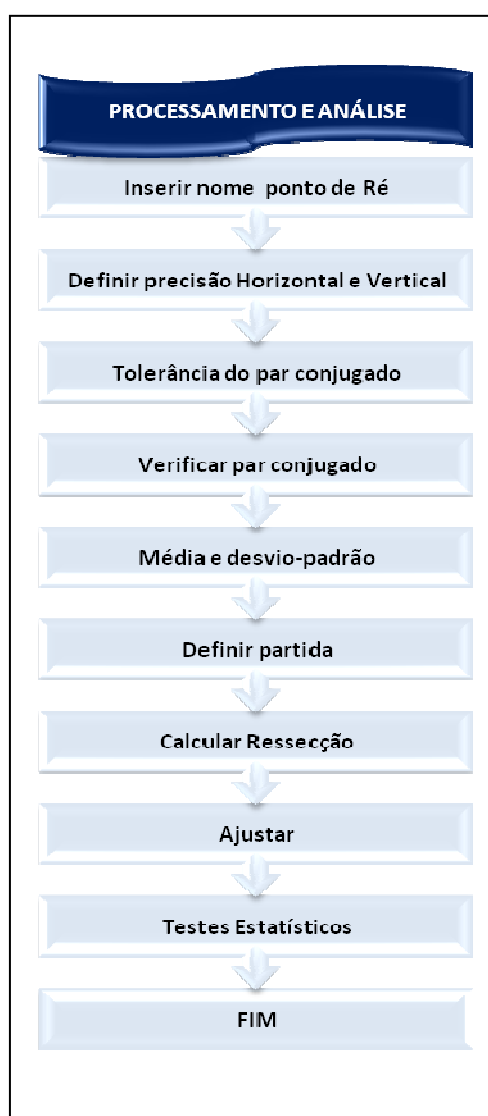


FIGURA 21 – FLUXOGRAMA DO MÓDULO RECESSÃO – PROCESSAMENTO E ANÁLISE

FONTE: O autor (2011)

- a) Definir ponto de Ré, precisões horizontal e vertical e tolerância do par conjugado;
- b) Verificar par conjugado: este passo inclui o cálculo das séries coletadas de direções horizontais, dos ângulos zenitais e distâncias inclinadas. Vale ressaltar que se forem realizadas séries de observações, esse módulo realiza a verificação dessas séries, se as mesmas estão dentro da precisão estipulada, caso contrário, a série será rejeitada e uma nova série deverá ser observada.
- c) Média e desvio-padrão: são calculadas a média e desvio-padrão das séries.
- d) Partida: nesta etapa serão definidas as informações referentes a partida, se os pontos de controle possuem coordenadas conhecidas ou se o levantamento é realizado no sistema local. Para realizar o ajustamento quatro pontos de controle deverão ser medidos.
- e) Calcular Recessão: nesta etapa aplica-se o método de Recessão (ver item 3.1.1) para determinar as coordenadas da estação ocupada. Estas devem ser obtidas em função das coordenadas conhecidas dos pontos de controle e das observações sobre estes pontos. Caso as coordenadas dos pontos de controle não sejam conhecidas, as mesmas serão calculadas em função das observações de campo, portanto, no sistema local, na primeira série de observações realizadas.
- f) Verificar a estabilidade das estações de controle: deve ser possível verificar se existe ou não variação nas distâncias entre as estações de controle, sendo uma forma de verificar se as mesmas sofreram ou não deslocamentos.
- g) Ajustar: nesta etapa as coordenadas da estação ocupada são ajustadas e as matrizes variância-covariância calculadas para cada época, possibilitando assim, analisar a qualidade do ajustamento.
- h) Testes estatísticos: Neste passo, as observações são testadas para verificar se as mesmas possuem ou não erros grosseiros. Caso possuam, uma intervenção manual se fará necessária.

As fórmulas da etapa de ajustamento, bem como as dos testes estatísticos foram apresentadas nos itens 3.2.2.1 e 3.2.2.2.

### 3.5.3.2 Relatórios

Um relatório é um tipo de documento impresso utilizado para reportar resultados parciais ou totais de um determinado experimento ou pesquisa.

O módulo Relatório foi desenvolvido para que o SAM pudesse ter suas observações, bem como todos os resultados dos processamentos e análises apresentados na tela do computador e também de forma impressa, isto é, ele permitirá que o processamento e análise dos dados de uma ou mais épocas sejam salvos em arquivos de texto (.txt). Estes também poderão ser visualizados no programa. O mesmo processo deve ser realizado para determinar o relatório do módulo de Irradiação.

A Figura 22 mostra o fluxograma de funcionamento dessa etapa:

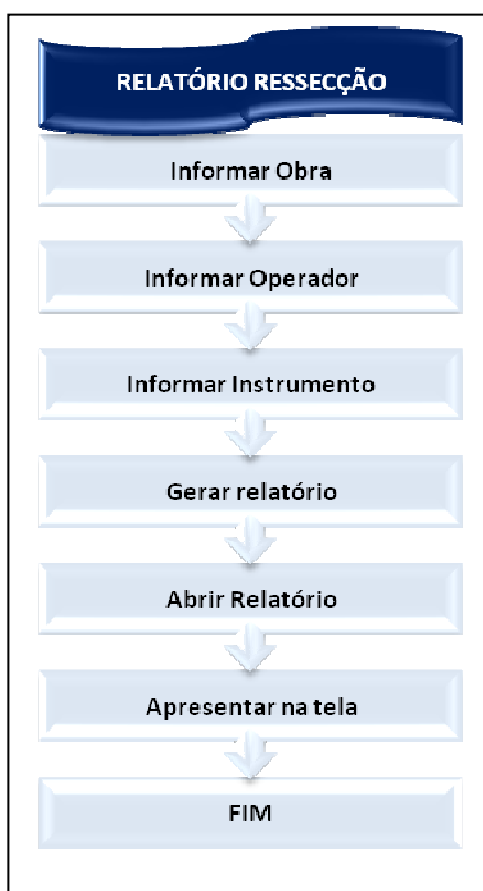


FIGURA 22 – FLUXOGRAMA DO MÓDULO RECESSÃO – RELATÓRIO

FONTE: O autor (2011)

### 3.5.3.3 Representação gráfica

Uma das necessidades no monitoramento é a garantia de que o ponto onde a estação está instalada não sofre variações durante o período do monitoramento. Portanto, deve-se pensar numa forma de apresentação desta informação ao usuário.

Assim sendo, após as coordenadas finais terem sido calculadas em cada época de observações, gráficos podem ser gerados para auxiliar na análise e interpretação dos deslocamentos resultantes.

Neste módulo (Figura 23) são gerados quatro gráficos que permitem avaliar como se comportam as coordenadas X, Y, X ajustada e Y ajustada, todas em função das épocas. Também é possível avaliar a discrepância entre as coordenadas observadas e as correspondentes ajustadas em dois gráficos adicionais.



FIGURA 23 – FLUXOGRAMA DO MÓDULO RECESSÃO – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

FONTE: O autor (2011)

#### 3.5.3.4 Irradiação

Dentro do módulo de Recessão existe uma etapa denominada Irradiação. Essa se faz necessária para que sejam determinadas as coordenadas dos pontos objeto, ou seja, dos pontos distribuídos na área de interesse, para os quais deseja-se verificar se existe ou não deslocamento.

A aquisição das observações nesta etapa segue o mesmo processo descrito no item 3.5.1, a única diferença é que as observações são armazenadas dentro de uma outra tabela no banco de dados, ou seja, as observações obtidas no método de Recessão estão gravados em uma tabela e os da Irradiação em outra, mas todas as tabelas pertencem ao mesmo banco de dados.

No que diz respeito ao processamento e análise dessas observações (Figura 24), o procedimento realizado foi baseado em dados advindos do módulo de Recessão, tais como: nome do ponto, coordenadas, direção horizontal, bem como, ângulo zenital e distância do ponto de Ré, e coordenadas da estação ocupada, assim como, as ajustadas. Elementos ainda devem ser definidos antes do processamento, como a tolerância do par conjugado e precisões angulares.

De posse desses dados parte-se para a verificação e cálculo dos pares conjugados de cada série de observação e da média e desvio-padrão dessas mesmas séries. O passo seguinte consiste na determinação das coordenadas dos pontos objetos, para cada época, a partir da orientação entre o ponto de Ré e a estação ocupada e das coordenadas da mesma.

Determinadas as coordenadas dos pontos objeto, o programa permite ainda quantificar a diferença, existente ou não, entre épocas distintas. A época inicial (denominada de época 1) é sempre tida como época base, isto é, admite-se que os dados obtidos nesta sejam os dados de referência sobre os quais serão feitas as comparações. O mesmo ocorre no método de Recessão.

Com o intuito de verificar a qualidade dos resultados, o programa calcula a propagação de erros, bem como os elementos da elipse de erros

Após os cálculos, todos os resultados são apresentados na tela do programa. Estes podem ainda ser salvos em arquivos de texto (.txt).



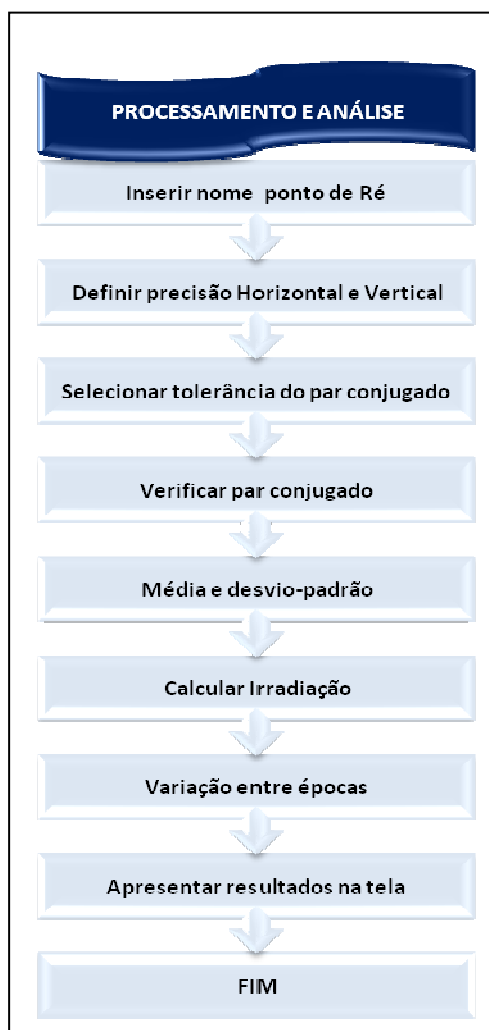


FIGURA 24 – FLUXOGRAMA DO MÓDULO RECESSÃO – IRRADIAÇÃO

FONTE: O autor (2011)

Finalizados os cálculos das coordenadas dos pontos de um ciclo de observações é importante gerar gráficos de deslocamentos, uma vez que esses podem evidenciar quaisquer tendências de deslocamentos dos pontos objetos.

O programa permite a geração de dois gráficos (Figura 25). Eles referem-se à diferença de coordenadas dos pontos objeto em relação à época 1, ou seja, serão plotadas informações de variações de coordenadas por épocas de observação.



FIGURA 25 – FLUXOGRAMA DO MÓDULO RECESSÃO – IRRADIAÇÃO – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

FONTE: O autor (2011)

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 TESTE DE VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE RECESSÃO APLICADO AO MONITORAMENTO TOPOGRÁFICO

Esse estudo visa avaliar o processo de Recessão, por meio de seu modelo matemático. Assim, cinco experimentos foram realizados. Nestes, definiram-se três estações de controle, com coordenadas conhecidas. Além disso, o equipamento foi posicionado em locais diferentes em cada experimento e a partir das observações nos três pontos foram determinadas as coordenadas do ponto onde a estação foi instalada.

Um ponto com coordenadas conhecidas foi utilizado para que, a partir das coordenadas da estação ocupada com o equipamento, fossem calculadas as coordenadas deste mesmo ponto, permitindo, portanto, uma comparação entre as coordenadas conhecidas desse ponto e as calculadas. Isso possibilitou uma análise da qualidade dos resultados.

#### 4.1.1 Experimento

A área teste utilizada para a coleta de dados dos experimentos consistiu na Base de Classificação de Teodolitos e Estações totais, situada nas dependências do Centro Politécnico – Universidade Federal do Paraná (UFPR). A localização da mesma dentro do Câmpus da UFPR pode ser vista na Figura 26.

Os pilares A, B e C foram utilizados como estações de controle e o pilar D como ponto de checagem do método.

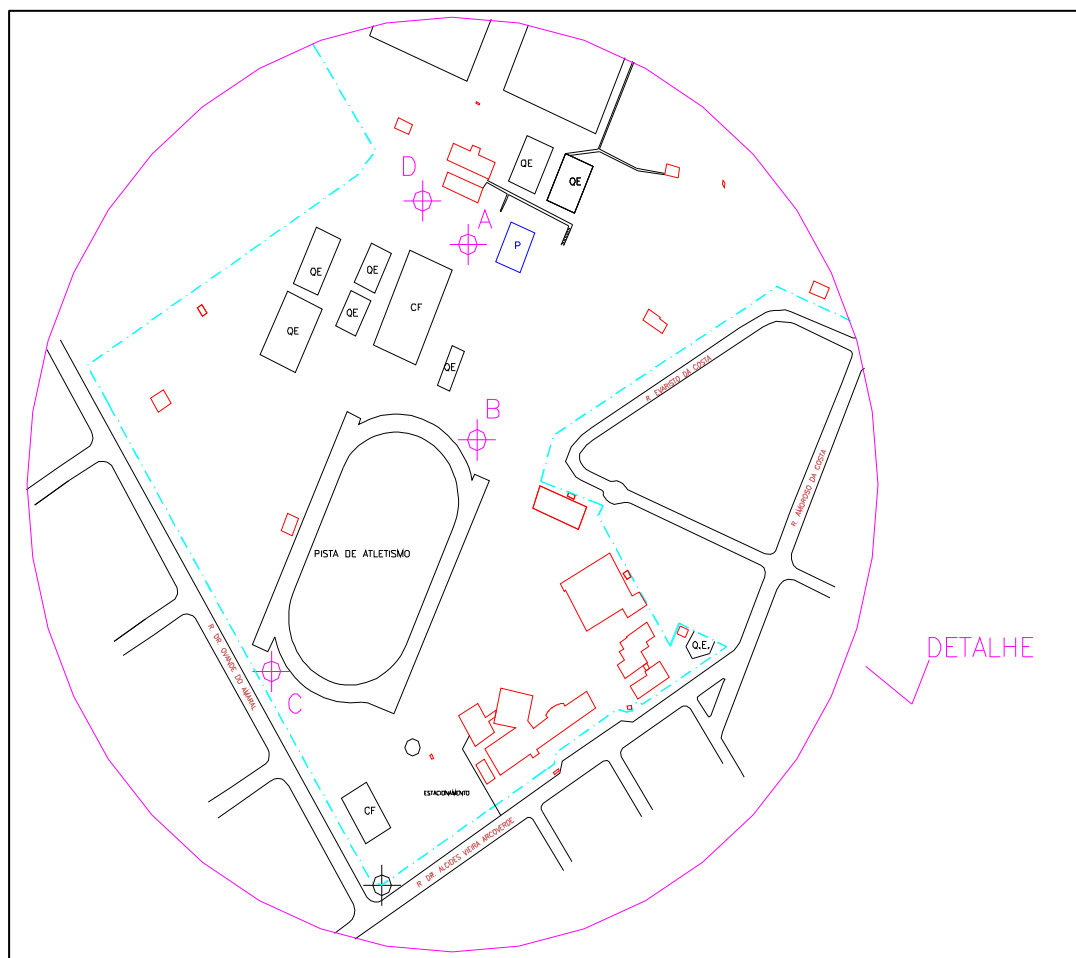


FIGURA 26 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO – BASE DE CLASSIFICAÇÃO UFPR

FONTE: ADAPTADO DE VEIGA (2001)

#### 4.1.1.1 Equipamentos

Para a coleta dos dados os seguintes equipamentos/instrumentos foram utilizados:

- Estação Total Topcon 3007;
- Quatro prismas refletores Leica;
- Psicrômetro e Barômetro Aneróide Paulin ;
- Quatro bases nivelantes;
- Quatro adaptadores de encaixe do prisma na base;
- Quatro pinos para encaixe do prisma no adaptador;

g) Tripé.

#### 4.1.1.2 Procedimento de Campo

Foram realizados dois levantamentos no dia 18 e três levantamentos no dia 25 de setembro de 2008, totalizando cinco épocas de observações.

A metodologia utilizada consistiu em estacionar a estação total em locais que permitissem a visada aos quatro pilares (três estações de controle e uma estação de checagem), e instalar os prismas nos pilares A, B, C e D (Figura 27). A partir dessa disposição dos pontos, foram feitas três séries de observações, com leituras em posição direta e inversa, de direções horizontais, de ângulos zenitais e distâncias inclinadas para cada estação, bem como, coleta de parâmetros ambientais (pressão, temperatura seca e úmida).

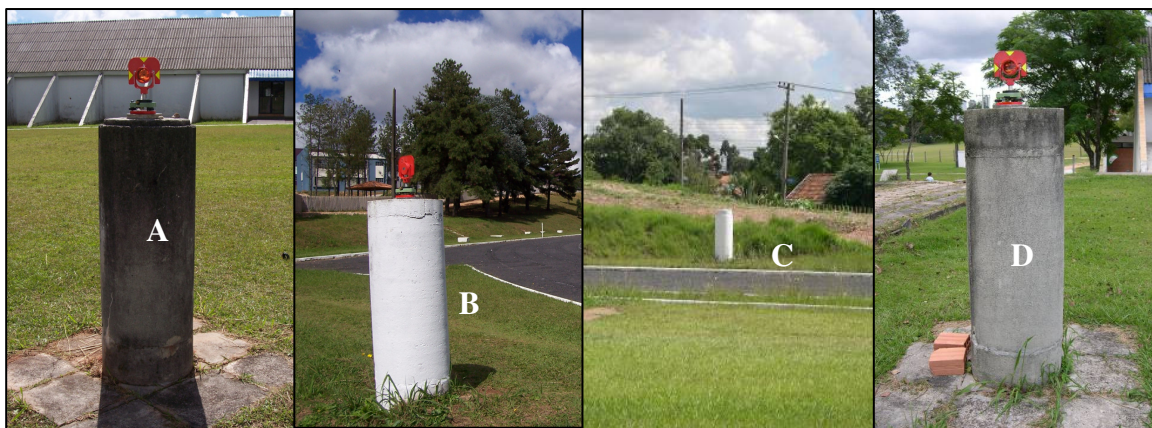


FIGURA 27 - ESTAÇÕES DE CONTROLE A, B e C; ESTAÇÃO D

FONTE: O autor (2009)

No Quadro 1 são apresentados os dados coletados durante toda a campanha:

	SÉRIE	EST. P	DIREÇÃO HORIZONTAL		ÂNGULO ZENITAL		DISTÂNCIA INCLINADA (m)	TEMPERATURA (°C)		PRESSÃO (mmHg)
			PD	PI	PD	PI		SECA	ÚMIDA	
1º EXPERIMENTO (18/09/08)	1ª	A	8° 51' 35"	188° 51' 05"	89° 56' 40"	270° 03' 10'	158,114	16,3	12,1	692,10
		B	55° 10' 40"	235° 10' 50"	89° 55' 35"	270° 04' 20"	105,671	16,3	12,1	692,10
		C	155° 59' 10"	335° 59' 20"	89° 56' 05"	270° 04' 05"	118,789	15,1	11,2	692,10
		D	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 57' 15"	270° 03' 00'	172,845	16,0	12,3	692,10
	2ª	A	8° 51' 25"	188° 51' 05"	89° 57' 00"	270° 03' 05'	158,113	15,0	12,0	692,00
		B	55° 10' 25"	235° 11' 10"	89° 55' 35"	270° 04' 10"	105,671	14,8	11,8	692,00
		C	155° 59' 40"	335° 59' 40"	89° 55' 55"	270° 04' 05"	118,789	14,5	11,7	692,00
		D	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 57' 15"	270° 02' 50'	172,845	14,0	11,4	692,00
	3ª	A	8° 51' 45"	188° 51' 20"	89° 56' 55"	270° 02' 55'	158,113	14,3	11,4	692,00
		B	55° 10' 35"	235° 10' 55"	89° 56' 00"	270° 04' 15"	105,671	14,0	11,5	692,00
		C	155° 59' 10"	335° 59' 25"	89° 55' 55"	270° 04' 10"	118,789	13,7	11,2	692,00
		D	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 57' 05"	270° 02' 50'	172,845	13,9	11,0	692,00
2º EXPERIMENTO (18/09/08)	1ª	A	8° 41' 50"	188° 41' 50"	89° 55' 20"	270° 04' 40"	160,794	24,9	20,2	688,00
		B	53° 58' 10"	233° 58' 05"	89° 53' 40"	270° 06' 10"	106,936	24,9	20,1	688,00
		C	155° 46' 00"	335° 46' 00"	89° 52' 55"	270° 07' 05"	116,080	25,1	20,1	688,00
		D	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 55' 45"	270° 04' 15"	175,625	25,7	20,7	688,00
	2ª	A	8° 41' 55"	188° 41' 55"	89° 55' 30"	270° 04' 35"	160,795	25,3	20,3	688,00
		B	53° 58' 10"	233° 58' 05"	89° 53' 40"	270° 06' 20"	106,936	25,1	20,1	688,00
		C	155° 46' 00"	335° 46' 10"	89° 52' 55"	270° 07' 10"	116,081	24,9	20,1	688,00
		D	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 55' 50"	270° 04' 15"	175,625	25,0	20,2	688,00
	3ª	A	8° 41' 52"	188° 41' 50"	89° 55' 30"	270° 04' 40"	160,795	25,1	20,5	688,00
		B	53° 58' 05"	233° 58' 05"	89° 53' 30"	270° 06' 15"	106,936	25,1	20,1	688,00
		C	155° 46' 05"	335° 46' 05"	89° 52' 55"	270° 07' 12"	116,080	24,9	20,1	688,00
		D	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 55' 55"	270° 04' 15"	175,625	24,9	20,1	688,00

QUADRO 1 - OBSERVAÇÕES EM CAMPO

FONTE: O autor (2009)

	SÉRIE	EST. P	DIREÇÃO HORIZONTAL		ÂNGULO ZENITAL		DISTÂNCIA INCLINADA (m)	TEMPERATURA (°C)		PRESSÃO (mmHg)
			PD	PI	PD	PI		SECA	ÚMIDA	
3º EXPERIMENTO (25/09/08)	1ª	A	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 57' 35"	270° 02' 35"	229,579	20,0	13,9	690,40
		B	29° 12' 47"	209° 12' 44"	89° 56' 32"	270° 03' 38"	177,431	19,5	13,6	690,20
		C	100° 30' 07"	280° 30' 07"	89° 53' 03"	270° 06' 50"	98,334	19,8	13,7	690,40
		D	353° 18' 35"	173° 18' 36"	89° 58' 16"	270° 01' 38"	240,456	19,6	13,6	690,40
	2ª	A	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 57' 32"	270° 02' 34"	229,579	19,6	13,5	690,40
		B	29° 12' 43"	209° 12' 40"	89° 56' 30"	270° 03' 36"	177,431	19,6	13,6	690,40
		C	100° 30' 11"	280° 30' 05"	89° 53' 04"	270° 06' 58"	98,334	19,4	13,3	690,40
		D	353° 18' 38"	173° 18' 33"	89° 58' 13"	270° 01' 42"	240,457	19,3	13,3	690,40
	3ª	A	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 57' 34"	270° 02' 31"	229,579	19,5	13,4	690,40
		B	29° 12' 38"	209° 12' 37"	89° 56' 33"	270° 03' 35"	177,430	19,5	13,5	690,40
		C	100° 30' 05"	280° 30' 07"	89° 53' 01"	270° 06' 57"	98,334	19,6	13,6	690,40
		D	353° 18' 32"	173° 18' 39"	89° 58' 15"	270° 01' 40"	240,456	19,6	13,6	690,40
4º EXPERIMENTO (25/09/08)	1ª	A	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 59' 38"	270° 00' 17"	228,577	19,6	13,5	690,40
		B	29° 26' 55"	209° 26' 53"	89° 58' 40"	270° 01' 25"	177,792	19,6	13,6	690,40
		C	100° 10' 39"	280° 10' 37"	89° 59' 10"	270° 00' 55"	100,994	19,8	13,5	690,40
		D	353° 14' 58"	173° 14' 59'	90° 00' 18"	269° 59' 50"	239,167	19,6	13,6	690,40
	2ª	A	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 59' 37"	270° 00' 20"	228,577	19,6	13,8	690,40
		B	29° 26' 58"	209° 26' 56"	89° 58' 41"	270° 01' 28"	177,793	19,8	14,0	690,40
		C	100° 10' 40"	280° 10' 36"	89° 59' 11"	270° 00' 58"	100,994	19,8	13,9	690,40
		D	353° 14' 57"	173° 14' 58'	90° 00' 18"	269° 59' 51"	239,167	19,7	13,7	690,40
	3ª	A	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 59' 38"	270° 00' 21"	228,578	19,6	13,6	690,40
		B	29° 26' 52"	209° 26' 50"	89° 58' 41"	270° 01' 26"	177,792	19,4	135,0	690,40
		C	100° 10' 41"	280° 10' 41"	89° 59' 10"	270° 00' 56"	100,994	19,6	13,7	690,40
		D	353° 14' 58"	173° 14' 58'	90° 00' 17"	269° 59' 50"	239,168	19,6	13,6	690,40

QUADRO 1 - OBSERVAÇÕES EM CAMPO (cont.)

FONTE: O autor (2009)

	SÉRIE	EST. P	DIREÇÃO HORIZONTAL		ÂNGULO ZENITAL		DISTÂNCIA INCLINADA (m)	TEMPERATURA (°C)		PRESSÃO (mmHg)
			PD	PI	PD	PI		SECA	ÚMIDA	
5º EXPERIMENTO (25/09/08)	1ª	A	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 59' 25"	270° 00' 40"	231,284	19,6	13,7	690,40
		B	29° 01' 17"	209° 01' 19"	89° 58' 30"	270° 01' 33"	180,096	19,6	13,7	690,40
		C	98° 41' 58"	278° 41' 57"	89° 59' 03"	270° 00' 58"	100,432	19,6	13,6	690,40
		D	353° 19' 35"	173° 19' 34"	90° 00' 08"	269° 59' 48"	241,868	19,5	13,4	690,40
	2ª	A	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 59' 23"	270° 00' 39"	231,284	19,6	13,4	690,40
		B	29° 01' 15"	209° 01' 17"	89° 58' 31"	270° 01' 32"	180,097	19,7	13,5	690,40
		C	98° 41' 56"	278° 41' 57"	89° 59' 01"	270° 00' 57"	100,432	19,6	13,6	690,40
		D	353° 19' 39"	173° 19' 30"	90° 00' 06"	269° 59' 52"	241,868	19,6	13,6	690,40
	3ª	A	0° 00' 00"	180° 00' 00"	89° 59' 26"	270° 00' 37"	231,284	19,6	13,6	690,40
		B	29° 01' 17"	209° 01' 17"	89° 58' 33"	270° 01' 30"	180,096	19,7	13,8	690,40
		C	98° 41' 55"	278° 41' 56"	89° 59' 01"	270° 00' 59"	100,433	19,7	13,9	690,40
		D	353° 19' 38"	173° 19' 31"	90° 00' 07"	269° 59' 54"	241,868	19,6	13,5	690,40

QUADRO 1 - OBSERVAÇÕES EM CAMPO (cont.)

FONTE: O autor (2009)



De posse dos dados coletados partiu-se para a aplicação do Método de Recessão: cálculo das coordenadas da Estação Ocupada e verificação da qualidade dos resultados.

#### 4.1.1.3 Procedimento de Cálculo

Conhecidas as coordenadas das Estações de Controle: A, B e C, e das direções a essas estações (Quadros 2 e 3), o primeiro passo na determinação das coordenadas da Estação Ocupada P, consiste em corrigir as distâncias dos fatores atmosféricos.

As variações nas condições atmosféricas causam um aumento ou diminuição da velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam conseqüentemente, os erros sistemáticos nas medidas de distâncias (FAGGION, 2001). Devido à influência que os fatores atmosféricos provocam nessas medidas, faz-se necessário corrigi-las de tais elementos.

Para esse experimento foram utilizadas as fórmulas adotadas pela IUGG, citadas em Rüeger (1996). Onde a correção é dada por:

$$d = \left( \frac{n_R}{n_L} \right) d_M \quad (52)$$

onde:

- d - distância corrigida;
- $n_L$  - índice refrativo do ambiente;
- $n_R$  - índice refrativo de referência;
- $d_M$  - distância medida

A redução é essencialmente uma aplicação do fator de escala  $n_R/n_L$  para a distância medida. O fator de escala relaciona o índice de refração de referência do instrumento com o índice de refração baseado nas condições atmosféricas ambientes.

E o valor do índice de refração de referência  $n_R$  é obtido das especificações do fabricante para uma estação total dada.

O passo seguinte consiste em calcular os ângulos horizontais entre as estações (Quadro 4), através da Equação (2).

$$\alpha = r_B - r_A \text{ e } \beta = r_C - r_A \quad (2)$$

onde:

$r_A$ ,  $r_B$  e  $r_C$  – direções observadas a partir da Estação Ocupada P;

$\alpha$  - ângulo  $\widehat{APB}$ ;

$\beta$  - ângulo  $\widehat{APC}$ ;

ESTAÇÃO	COORDENADAS (m)	
	X	Y
A	677307,875	7183567,983
B	677320,218	7183454,279
C	677209,717	7183321,054
D	677293,696	7183593,850

QUADRO 2 - COORDENADAS CONHECIDAS DAS ESTAÇÕES

FONTE: O autor (2009)

	DIREÇÕES HORIZONTAIS				
	1º Experimento	2º Experimento	3º Experimento	4º Experimento	5º Experimento
$r_A$	8° 51' 22,5"	8° 41' 52,0"	0° 00' 00,0"	0° 00' 00,0"	0° 00' 00,0"
$r_B$	55° 10' 45,8"	53° 58' 06,7"	29° 12' 41,5"	29° 26' 54,0"	29° 01' 17,0"
$r_C$	155° 59' 24,2"	155° 46' 10,0"	100° 30' 07,0"	100° 10' 39,0"	98° 41' 56,5"

QUADRO 3 - DIREÇÕES HORIZONTAIS

FONTE: O autor (2009)

	ÂNGULOS HORIZONTAIS				
	1º Experimento	2º Experimento	3º Experimento	4º Experimento	5º Experimento
$\alpha$	46° 19' 23,3"	45° 16' 14,7"	29° 12' 41,5"	29° 26' 54,0"	29° 01' 17,0"
$\beta$	147° 08' 01,7"	147° 04' 18,0"	100° 30' 07,0"	100° 10' 39,0"	98° 41' 56,5"

QUADRO 4 - ÂNGULOS HORIZONTAIS

FONTE: O autor (2009)

Após o cálculo destes, foi realizado o cálculo das coordenadas da Estação Ocupada P, conforme equações descritas no item 3.2.1.1.

A partir das coordenadas da Estação Ocupada, obtidas pelo Método de Recessão, foram calculadas as coordenadas da Estação de checagem D.

As coordenadas calculadas da Estação D foram então comparadas com as suas coordenadas conhecidas, permitindo assim avaliar se os resultados obtidos com a aplicação do Método de Recessão estavam coerentes com a realidade do levantamento.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos na realização dos experimentos.

#### 4.1.1.4 Resultados

No Quadro 5, pode-se verificar as coordenadas calculadas da Estação Ocupada para os cinco experimentos, sendo possível perceber que em cada experimento a estação foi instalada em uma posição diferente.

EST. P	COORDENADAS (m)				
	1º Experimento	2º Experimento	3º Experimento	4º Experimento	5º Experimento
X	677215,612	677214,737	677151,250	677150,103	677148,321
Y	7183439,643	7183436,966	7183400,121	7183402,580	7183400,538

QUADRO 5 - COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA P

FONTE: O autor (2009)

As coordenadas da Estação de checagem D, podem ser vistas no Quadro 6.

EST. D	COORDENADAS ESTAÇÃO CHECAGEM D (m)				
	1º Experimento	2º Experimento	3º Experimento	4º Experimento	5º Experimento
X	677293,696	677293,697	677293,696	677293,697	677293,696
Y	7183593,849	7183593,852	7183593,850	7183593,851	7183593,850

QUADRO 6 - COORDENADAS CALCULADAS DA ESTAÇÃO D

FONTE: O autor (2009)

No Gráfico 1, visualiza-se a comparação entre as coordenadas calculadas para essa estação com as suas coordenadas conhecidas .

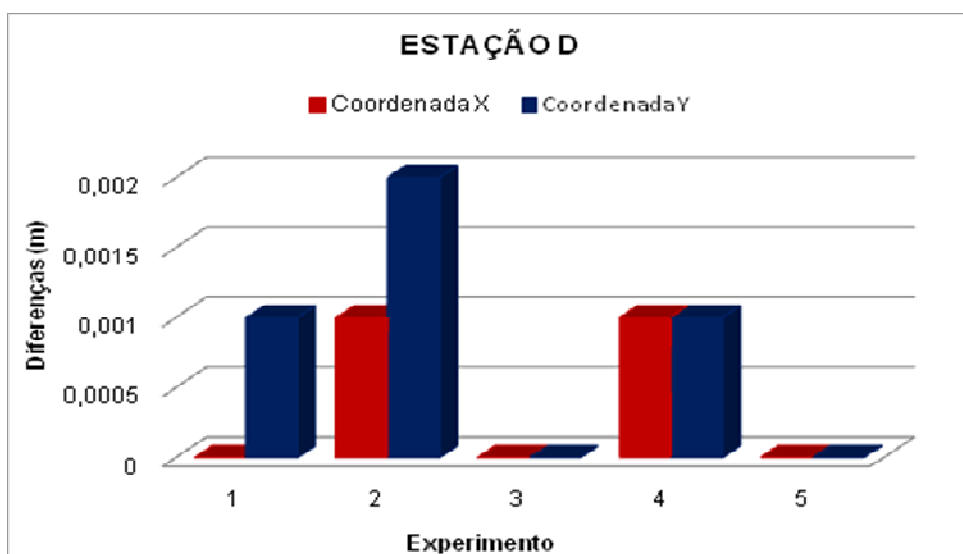


GRÁFICO 1 - COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS CONHECIDAS DA ESTAÇÃO D COM SUAS COORDENADAS CALCULADAS

Verifica-se que as discrepâncias encontradas quando comparadas as coordenadas conhecidas da Estação D com suas coordenadas calculadas, foram iguais ou inferiores a 2 mm.

Com o intuito de avaliar se essas diferenças encontradas são significativas, aplicou-se um teste estatístico baseado numa distribuição F de Snedecor, ao nível de significância de 5%.

Esse teste pertence à teoria multivariada no caso de comparações emparelhadas, que se descreve a seguir:

Hipótese Básica:

$H_0 : \tilde{\delta} = \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ ; não existe diferença significativa entre as componentes ao longo dos experimentos.

Hipótese Alternativa:

$H_1 : \tilde{\delta} = \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ ; existe diferença significativa entre as componentes ao longo dos experimentos.

onde:

$\delta_x$  = vetor da componente X, resultante da diferença entre a coordenada conhecida da estação e as outras coordenadas calculadas;

$\delta_y$  = vetor da componente Y, resultante da diferença entre a coordenada conhecida da estação e as outras coordenadas calculadas;

Sendo o vetor médio das diferenças entre as componentes:

$$\bar{\delta} = \begin{bmatrix} \bar{\delta}_x \\ \bar{\delta}_y \end{bmatrix} \quad (59)$$

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \tilde{\delta}_j, \quad (60)$$

$$S_{\delta} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \left( \tilde{\delta}_j - \bar{\delta} \right) \left( \tilde{\delta}_j - \bar{\delta} \right)' \quad (61)$$

Estatística do teste:

$$T^2 = n \left( \bar{\delta} - \tilde{\delta} \right)' S_{\delta}^{-1} \left( \bar{\delta} - \tilde{\delta} \right) \quad (62)$$

Como:

$$T^2 \sim \frac{(n-1)p}{n-p} F_{p, n-p} \quad (63)$$

sendo: n – número de diferenças; p – número de variáveis.

Rejeita-se  $H_0$ , se:

$$T^2 > \frac{(n-1)p}{n-p} F_{p, n-p} \quad (64)$$

Considerando  $n=5$  e  $p=2$ , obtém-se um valor Teórico de  $T^2$ :

$$\frac{(n-1)p}{n-p} F_{p, n-p} = \frac{(5-1)2}{5-2} F_{(0,05) 2,3} = 25,5$$

Sendo o valor obtido pela Equação (62):

$$T^2 = 4,9$$

Como  $T^2 = 4,9 < \frac{(n-1)p}{n-p} F_{p, n-p}$ , aceita-se a hipótese básica  $H_0$  a um nível de significância de 5%, isto é, não existe diferença significativa entre os valores conhecidos e os calculados das coordenadas.

#### 4.1.1.5 Propagação de erros

É possível estimar a precisão de uma grandeza, determinada a partir de um conjunto de observações e relacionadas por meio de um modelo estocástico, a partir da teoria da Propagação das Covariâncias. Além de ser capaz de calcular a estimativa de erro em uma função, os tamanhos dos erros individuais contribuem para que o erro também possa ser analisado. Vale ressaltar que no Sistema de Monitoramento a propagação poderá ser utilizada como uma forma de auxiliar o profissional na hora de dispor os pontos e verificar qual resultará num desvio menor.

No caso em estudo, propagaram-se as covariâncias das observações de ângulos horizontais e coordenadas das Estações de Controle para as coordenadas da Estação Ocupada. Os modelos matemáticos utilizados para interligar esses dados são apresentados a seguir:

$$X_P = \left\{ \frac{[(X_B - X_A) - (Y_B - Y_A) \cotg \alpha] \left[ \frac{(X_B - X_A) \cotg \alpha - (X_C - X_A) \cotg \beta + (Y_C - Y_A) - (Y_B - Y_A)}{(Y_B - Y_A) \cotg \alpha - (Y_C - Y_A) \cotg \beta - (X_C - X_A) - (X_B - X_A)} \right] + [(Y_B - Y_A) - (X_B - X_A) \cotg \alpha]}{1 - \left[ \frac{(X_B - X_A) \cotg \alpha - (X_C - X_A) \cotg \beta + (Y_C - Y_A) - (Y_B - Y_A)}{(Y_B - Y_A) \cotg \alpha - (Y_C - Y_A) \cotg \beta - (X_C - X_A) - (X_B - X_A)} \right]^2} \right\} * \\ * \left[ \frac{(X_B - X_A) \cotg \alpha - (X_C - X_A) \cotg \beta + (Y_C - Y_A) - (Y_B - Y_A)}{(Y_B - Y_A) \cotg \alpha - (Y_C - Y_A) \cotg \beta - (X_C - X_A) - (X_B - X_A)} \right] + Y_A$$

(65)

$$Y_P = \left\{ \frac{[(X_B - X_A) - (Y_B - Y_A) \cotg \alpha] \left[ \frac{(X_B - X_A) \cotg \alpha - (X_C - X_A) \cotg \beta + (Y_C - Y_A) - (Y_B - Y_A)}{(Y_B - Y_A) \cotg \alpha - (Y_C - Y_A) \cotg \beta - (X_C - X_A) - (X_B - X_A)} \right] + [(Y_B - Y_A) - (X_B - X_A) \cotg \alpha]}{1 - \left[ \frac{(X_B - X_A) \cotg \alpha - (X_C - X_A) \cotg \beta + (Y_C - Y_A) - (Y_B - Y_A)}{(Y_B - Y_A) \cotg \alpha - (Y_C - Y_A) \cotg \beta - (X_C - X_A) - (X_B - X_A)} \right]^2} \right\} + Y_A \quad (66)$$

A partir das Equações (65) e (66), chega-se as Equações (67) e (68), através destas é possível obter o erro estimado no cálculo das coordenadas da Estação Ocupada (Quadro 7):

$$\sigma_{XP} = \sqrt{\left( \frac{\partial X_P}{\partial X_A} \sigma_{XA} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_P}{\partial Y_A} \sigma_{YA} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_P}{\partial X_B} \sigma_{XB} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_P}{\partial Y_B} \sigma_{YB} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_P}{\partial X_C} \sigma_{XC} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_P}{\partial Y_C} \sigma_{YC} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_P}{\partial \alpha} \sigma_{\alpha} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_P}{\partial \beta} \sigma_{\beta} \right)^2} \quad (67)$$

$$\sigma_{YP} = \sqrt{\left( \frac{\partial Y_P}{\partial X_A} \sigma_{XA} \right)^2 + \left( \frac{\partial Y_P}{\partial Y_A} \sigma_{YA} \right)^2 + \left( \frac{\partial Y_P}{\partial X_B} \sigma_{XB} \right)^2 + \left( \frac{\partial Y_P}{\partial Y_B} \sigma_{YB} \right)^2 + \left( \frac{\partial Y_P}{\partial X_C} \sigma_{XC} \right)^2 + \left( \frac{\partial Y_P}{\partial Y_C} \sigma_{YC} \right)^2 + \left( \frac{\partial Y_P}{\partial \alpha} \sigma_{\alpha} \right)^2 + \left( \frac{\partial Y_P}{\partial \beta} \sigma_{\beta} \right)^2} \quad (68)$$

EXP.	COORDENADAS ESTAÇÃO P (m)			
	X	Y	$\sigma_X$	$\sigma_Y$
1	677215,612	7183439,643	0,002	0,004
2	677214,737	7183436,966	0,002	0,004
3	677151,250	7183400,121	0,003	0,005
4	677150,103	7183402,580	0,003	0,005
5	677148,321	7183400,538	0,003	0,005

QUADRO 7 - COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA P COM SEUS RESPECTIVOS DESVIOS

#### 4.1.1.6 Programa

Como forma de otimizar o trabalho, um programa foi desenvolvido (Figura 28) em linguagem Delphi para o cálculo das coordenadas dos pontos ocupados com o equipamento, utilizando o Método de Recessão.

Nesse programa, denominado Recessão, as coordenadas da Estação Ocupada são calculadas a partir das equações dispostas no item 3.2.1.1, ou seja, de

posse das coordenadas conhecidas das três Estações de Controle e das observações de direções a essas estações, é que as coordenadas são determinadas.

The image shows a software window titled "RESECCÃO". It is divided into several sections for data entry and calculation. The top section, "Estações de Controle", contains three columns for "Estação 1", "Estação 2", and "Estação 3", each with input fields for X and Y coordinates. The middle section, "Ângulos Horizontais", has input fields for "Ângulo entre Estação 1 e Estação 2" and "Estação 1 e Estação 3". Below this are three buttons: "CALCULAR", "SAIR", and "LIMPAR". The bottom section, "Resultado", displays the calculated X and Y coordinates for the "Estação Ocupada".

FIGURA 28 - PROGRAMA RECESSÃO

FONTE: O autor (2009)

## 4.2 PROGRAMA DESENVOLVIDO PARA GERENCIAR O SAM

Como dito anteriormente, com o intuito de gerenciar o SAM, um programa foi desenvolvido em módulos, na Linguagem *Borland Delphi 7.0*; tendo como principais objetivos: coletar as observações de forma semi-automatizada; armazenar os dados em um banco de dados relacional; executar o processamento dos dados de forma automática, gerar gráficos de apoio à análise dos resultados; ajustar utilizando o MMQ e no caso dos pontos objetos realizar a propagação de erros, bem como calcular os elementos das elipses de erros.



Como pode ser observado na Figura 29, o programa apresenta em sua tela principal três módulos de operação. Cabe salientar que o programa foi implementado de acordo com o planejamento apresentado na metodologia.



FIGURA 29 - PROGRAMA SAM

FONTE: O autor (2011)

O módulo Aquisição (Figura 30) é o primeiro a ser selecionado. Este é responsável pela coleta de observações para aplicação do método de Ressecção. Nele são realizadas todas as configurações de comunicação, para que o programa possa se comunicar com a estação total, por meio da porta serial. Após a configuração ser realizada, o passo seguinte consiste na abertura da porta serial, para que a coleta de dados seja iniciada. A porta serial só será fechada no término das observações.

Cabe ressaltar que a época deve ser informada no início do monitoramento, para que o programa possa armazenar as observações de forma correta no banco de dados e que a coleta de parâmetros ambientais: pressão, temperatura seca e úmida, deve ser realizada de forma manual.

**Aquisição de dados**

### AQUISIÇÃO DE DADOS - RESSECÇÃO

Inserir Época:

Ponto:

Direção Horizontal:

Ângulo Zenital:

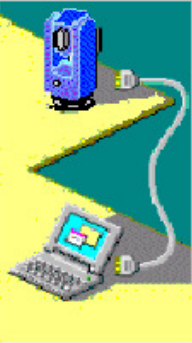
Distância Inclinação:

Data:  ▼

Horário:

Obs:

Comunicação:



String Recebida:

	EPOCA	PONTO	DATA	Dir Hz PD	Dir Hz PI	Ang Z PD	Ang Z PI	Dist PD	Dist PI
▶	5	00000004	18/01/2011	164°51'33,0"	344°51'27,0"	079°23'02,0"	280°37'05,0"	3,689	3,689
	5	00000003	18/01/2011	139°44'28,0"	319°44'32,0"	094°39'04,0"	265°21'05,0"	7,851	7,851
	5	00000002	18/01/2011	112°00'08,0"	291°59'58,0"	090°09'31,0"	269°50'40,0"	3,31	3,31
	1	00000001	18/01/2011	000°00'00,0"	180°00'00,0"	092°31'02,0"	267°29'08,0"	1,866	1,866
	4	00000004	18/01/2011	161°15'57,0"	341°16'06,0"	080°05'38,0"	279°54'33,0"	3,8	3,8
	4	00000003	18/01/2011	136°58'43,0"	316°58'50,0"	094°47'32,0"	265°12'37,0"	7,967	7,967
	4	00000002	18/01/2011	110°01'56,0"	290°01'50,0"	090°38'41,0"	269°21'31,0"	3,416	3,416

FIGURA 30 - PROGRAMA SAM – AQUISIÇÃO DE DADOS

FONTE: O autor (2011)

Já o módulo banco de dados (Figura 31) deve ser utilizado quando desejar-se realizar alguma edição e/ou remoção das observações coletadas. Ele apresenta em sua tela todas as informações relacionadas a um ponto pré-selecionado, isto é, pode apresentar em sua tela qualquer ponto coletado, com suas séries de observações, para cada época do monitoramento.

**Banco de Dados**

PONTO: 00000001

Informações Gerais:

Nome do Ponto: 00000001 Data da Medida: 18/01/2011 Época: 1

OBS:

**Série 1**

	Posição Direta (PD)	Posição Inversa (PI)
Direção Hz	000°00'00,0"	180°00'00,0"
Ângulo Z	092°31'02,0"	267°29'08,0"
Distância Inc.	1,866	1,866

**Série 2**

	Posição Direta (PD)	Posição Inversa (PI)
Direção Hz	000°00'00,0"	180°00'00,0"
Ângulo Z	092°31'04,0"	267°29'10,0"
Distância Inc.	1,866	1,866

**Série 3**

	Posição Direta (PD)	Posição Inversa (PI)
Direção Hz	000°00'00,0"	180°00'00,0"
Ângulo Z	092°31'03,0"	267°29'10,0"
Distância Inc.	1,866	1,866

**Série 4**

	Posição Direta (PD)	Posição Inversa (PI)
Direção Hz		
Ângulo Z		
Distância Inc.		

**Série 5**

	Posição Direta (PD)	Posição Inversa (PI)
Direção Hz		
Ângulo Z		
Distância Inc.		

**Série 6**

	Posição Direta (PD)	Posição Inversa (PI)
Direção Hz		
Ângulo Z		
Distância Inc.		

Navigation icons: Previous, Next, First, Last, Home, End, Refresh, etc.

FIGURA 31 - PROGRAMA SAM – BANCO DE DADOS

FONTE: O autor (2011)

De posse das observações, parte-se para o procedimento de verificação das observações, o qual é realizado dentro do módulo Recessão. Ele permite que o cálculo dos pares conjugados de cada série, verificação das tolerâncias pré-definidas, cálculo das médias das séries, bem como do desvio-padrão, seja realizado de forma automática, sendo que todos esses resultados podem ser visualizados na tela do programa (Figura 32).

**Ressecção**

Ré para Ressecção: 00000001

Número de Séries: 3 Época: 1

**Precisão Angular :**

Horizontal: 0° 0' 10"

Vertical: 0° 0' 10"

Tolerância do par conjugado:

☒ NBR-13133

☐ Definido pelo usuário

☐ Livre

1 X precisão do equipamento

Verificação Partida Calcular Ressecção Irradiação Gráfico Relatório

**MÉDIA E DESVIO-PADRÃO**

Distância (m)	DP
1,84	0,000
Direção Horizontal	DP
0°0'0"	0,000
Ângulo Zenital	DP
93°2'41"	0,000

FIGURA 32 - PROGRAMA SAM – RECESSÃO - VERIFICAÇÃO

FONTE: O autor (2011)

Após a verificação deve-se definir a partida (Figura 33): se serão introduzidas coordenadas de partida e se será realizado o ajustamento; se somente serão introduzidas as coordenadas das estações de controle sem a necessidade de realização do ajustamento; ou ainda se será utilizado um sistema local com ou sem ajustamento. O ajustamento só poderá ser selecionado, caso quatro estações de controle sejam observadas. É o número mínimo a ser considerado para a realização do mesmo.

**Partida**

**COORDENADAS DE PARTIDA**

☒ Coordenadas de Partida + Ajustamento ☐ Coordenadas de Partida ☐ Sistema Local ☐ Sistema Local com Ajustamento

Pontos de Controle

Ponto: 00000004	Ponto: 00000003	Ponto: 00000002	Ponto: 00000001
X1 100	X2 95,910	X3 96,023	X4 100,366
Y1 100	Y2 95,300	Y3 93,732	Y4 94,121

OK

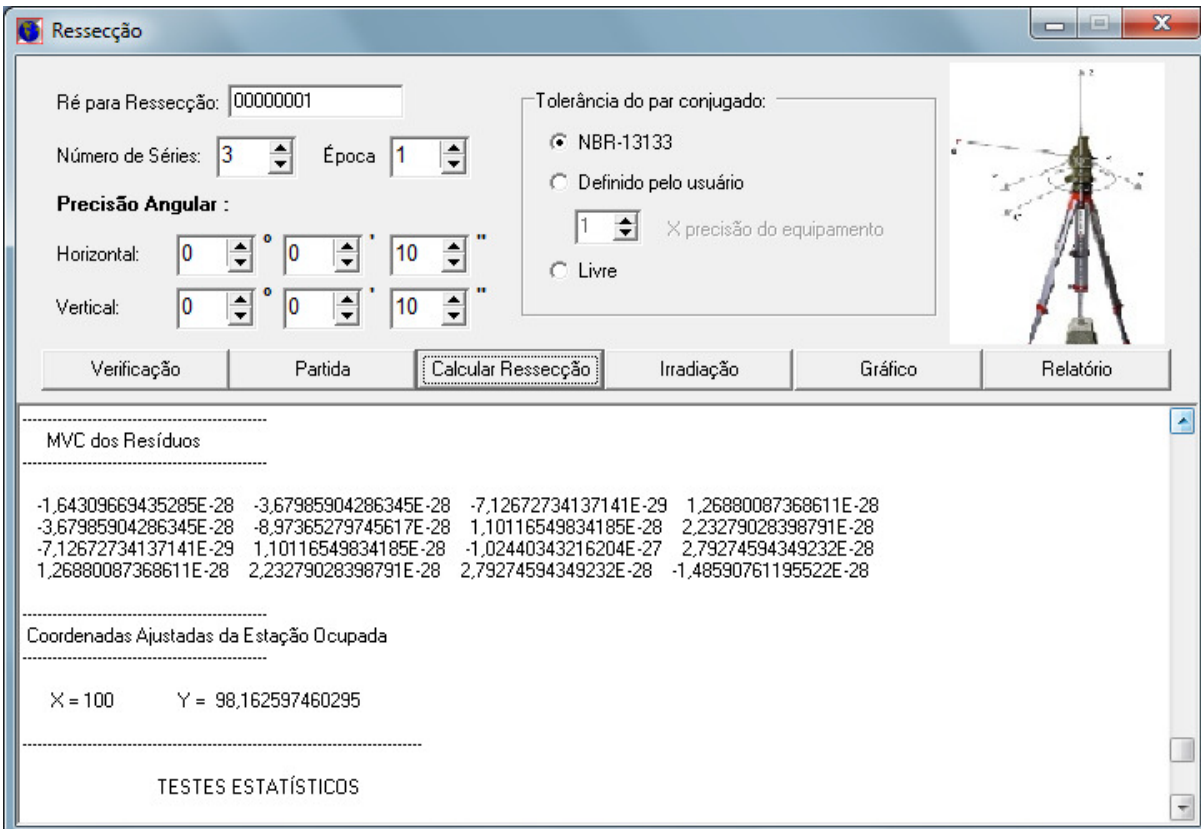
FIGURA 33 - PROGRAMA SAM – RECESSÃO - PARTIDA

FONTE: O autor (2011)

Caso o sistema local seja selecionado, as coordenadas das estações de controle serão calculadas.

Por fim, o programa utiliza as fórmulas do método Reccessão, constantes no item 3.2.1, para o cálculo das coordenadas da estação ocupada. Após isso, elas são ajustadas pelo MMQ e uma análise da qualidade do ajustamento é realizada, ou seja, testes estatísticos, *Data Snooping*, *Tau*, Q-Quadrado, são aplicados para a análise e detecção de erros. Outros elementos calculados pelo programa são as distâncias entre as estações de controle. Estas podem ser analisadas em épocas distintas como forma de verificar se essas estações sofrem deslocamentos.

Todos os resultados são apresentados na tela do programa (Figura 34), os gráficos podem ser gerados (Figura 35), bem como os relatórios (Apêndice A, B e C).



The screenshot shows the 'Ressecção' software window. The 'Calcular Ressecção' button is highlighted. Below the button, the results are displayed in a scrollable area.

**MVC dos Resíduos**

-1,64309669435285E-28	-3,67985904286345E-28	-7,12672734137141E-29	1,26880087368611E-28
-3,67985904286345E-28	-8,97365279745617E-28	1,10116549834185E-28	2,23279028398791E-28
-7,12672734137141E-29	1,10116549834185E-28	-1,02440343216204E-27	2,79274594349232E-28
1,26880087368611E-28	2,23279028398791E-28	2,79274594349232E-28	-1,48590761195522E-28

**Coordenadas Ajustadas da Estação Ocupada**

X = 100      Y = 98,162597460295

**TESTES ESTATÍSTICOS**

FIGURA 34 - PROGRAMA SAM – RECESSÃO – CALCULAR RECESSÃO

FONTE: O autor (2011)

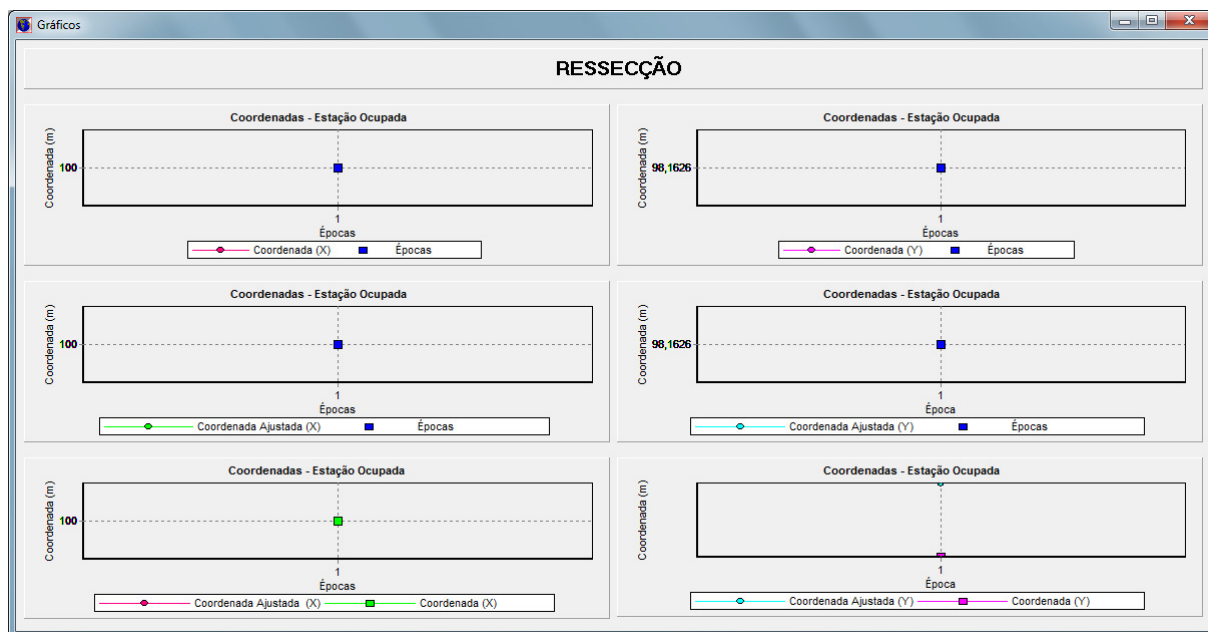


FIGURA 35 - PROGRAMA SAM – RECESSÃO – GRÁFICOS

FONTE: O autor (2011)

Determinadas as coordenadas da estação ocupada, parte-se para a obtenção das coordenadas do ponto objeto (ponto a ser monitorado), por meio da aplicação do método de Irradiação. Para tanto, uma nova coleta de observações deve ser realizada, seguindo-se o mesmo procedimento descrito anteriormente na coleta de dados da Recessão. Toda vez que acontece uma nova coleta, o programa realiza novamente a verificação das mesmas, analisando se estão dentro das tolerâncias pré-definidas, depois calcula suas médias e desvio-padrão de suas séries (Figura 36).

**Irradiação**

Tolerância do par conjugado:

☒ NBR-13133

☐ Definido pelo usuário

X precisão do equipamento

☐ Livre

Número de Séries:  Época

**Precisão Angular :**

Horizontal: ° ' "

Vertical: ° ' "

**Estação de Controle - Ré**

Estação	Coordenada X	Coordenada Y
<input type="text" value="00000001"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>
Direção Horizontal	Ângulo Zenital	Distância
<input type="text" value="69,3663888888889"/>	<input type="text" value="94,4797222222222"/>	<input type="text" value="3,327"/>

**Estação Ocupada**

	Coordenadas Finais	Coordenadas Ajustadas
X	<input type="text" value="96,896"/>	<input type="text" value="96,896"/>
Y	<input type="text" value="98,831"/>	<input type="text" value="98,831"/>

Verificação

Calcular Irradiação

Gráfico

Relatório

==> Direção Horizontal: 82°16'16"

==> Ângulo Zenital: 89°28'57"

==> Distância: 4,429m

-----

PONTO: 00000001

-----

**MÉDIA E DESVIO-PADRÃO**

Distância (m)	DP	Direção Horizontal	DP	Ângulo Zenital	DP
4,429	0,000	82°16'14"	0,000	89°28'57"	0,000

-----

-----

FIGURA 36 - PROGRAMA SAM – IRRADIAÇÃO

FONTE: O autor (2011)

Por fim as coordenadas do ponto objeto são calculadas em função das coordenadas e observações da estação de ré utilizada na Recessão e das coordenadas da estação ocupada.

Quando são realizadas mais épocas de observações o programa informa as discrepâncias entre as coordenadas obtidas entre essas épocas distintas, bem como é gerado um gráfico dessas diferenças.

#### 4.3 TESTE DE VALIDAÇÃO DO SAM

O objetivo desse teste é validar o SAM, ou seja, verificar a viabilidade do programa e todos os elementos considerados na elaboração do mesmo: a metodologia, o modelo matemático de ajustamento, os testes estatísticos. O intuito foi avaliar se o mesmo respondia com resultados coerentes com à realidade em questão, bem como se os resultados seriam apresentados em tempo real, concomitantemente com a realização das observações (em tempo real).

Foram realizados três experimentos: o primeiro na Base de Classificação do Laboratório de Instrumentação Geodésica – LAIG II, da UFPR, no dia 18 de janeiro de 2011, totalizando cinco épocas de observações; o segundo nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos, no dia 26 de setembro de 2011, sendo realizadas duas épocas de observações e o terceiro foi realizado com o auxílio do Interferômetro no Laboratório de Instrumentação Geodésica – LAIG, da UFPR, em maio de 2012, totalizando duas épocas de observações.

##### 4.3.1 Equipamentos

Para a coleta dos dados os seguintes equipamentos/instrumentos foram utilizados:

- a) Estação total Leica TC 403L;
- b) Prismas refletores Leica;
- c) Psicrômetro e Barômetro Aneróide Paulim ;
- d) Bases nivelantes;
- e) Adaptadores de encaixe do prisma na base;



- f) Pinos para encaixe do prisma no adaptador;
- g) Computador e cabos de descarga de dados.

#### 4.3.2 Experimento – LAIG II (UFPR)

Foram realizados cinco levantamentos no dia 18 de janeiro de 2011, totalizando cinco épocas de observações. A área teste utilizada para a coleta das observações consistiu na Base de Classificação do Laboratório de Instrumentação Geodésica – LAIG II, da UFPR, onde existe uma estrutura para a realização da classificação da componente angular de teodolitos e estações totais, composta por um ponto de centragem forçada e de um conjunto de colimadores.

A metodologia utilizada consistiu em estacionar a estação total no pilar central da Base (Figura 37), estação ocupada, e fazer leituras em cinco pontos distribuídos no LAIG II, materializados por prismas refletor. Destes pontos quatro foram considerados estações de controle e um como ponto objeto.



FIGURA 37 – PILAR CENTRAL BASE DE CLASSIFICAÇÃO

FONTE: O autor (2011)

Definidos os pontos de controle e os pontos objeto, partiu-se para a coleta de observações. O primeiro passo foi realizar medidas sobre as estações de

controle, três séries de observações. Vale ressaltar que o SAM fez a verificação das precisões e tolerâncias durante o ato das medições e só armazenou no banco de dados as que foram aceitas em função dessas tolerâncias pré-estabelecidas. As séries foram calculadas, bem como sua média e desvio-padrão. Após essa etapa, as observações estavam aptas para serem utilizadas no cálculo das coordenadas da estação ocupada.

As coordenadas das estações de controle foram então calculadas no sistema local, sendo que as coordenadas da estação de controle 1 foram consideradas  $X_1=100,000\text{m}$  e  $y_1=100,000\text{m}$ . A partir dessas coordenadas e da aplicação do modelo matemático do método de Recessão, as coordenadas da estação ocupada foram calculadas. Como quatro estações de controle foram observadas isso possibilitou que o ajustamento fosse realizado.

Outros elementos calculados foram as distâncias entre as estações de controle que possibilitaram avaliar se ocorreu ou não deslocamentos entre as mesmas. A análise dessas distâncias funciona como um controle da estabilidade desses pontos. Testes estatísticos foram aplicados para a análise e detecção de erros.

O passo seguinte consistiu em uma nova coleta de observações, agora sobre o ponto objeto. O objetivo foi determinar suas coordenadas, utilizando para tanto o método de Irradiação. Foram realizadas três séries de observações do ponto objeto, com leituras em posição direta e inversa da luneta de direções horizontais, de ângulos zenitais e distâncias inclinadas para cada estação. Essas observações foram verificadas e sua média e desvio-padrão calculados.

De posse desses dados e conhecendo-se as coordenadas da estação de controle de ré, bem como as da estação ocupada, as coordenadas do ponto objeto foram calculadas.

No final de cada conjunto de observações, a estação total foi instalada em outra posição do pilar, visto que o mesmo permite variações em altura e rotações, caracterizando assim, uma nova época. Todo o processo foi refeito para as quatro épocas restantes.

No final do monitoramento, gráficos foram gerados com o intuito de auxiliar na análise de possíveis discrepâncias encontradas entre as coordenadas do ponto objeto, obtidas em épocas distintas. Foram gerados também relatórios contendo as observações, processamento e análises de todo o monitoramento (Apêndice A).

A seguir serão apresentados os resultados obtidos em todas as épocas de levantamento.

#### 4.3.2.1 Resultados

No Quadro 8, podem ser visualizadas as coordenadas das quatro estações de controle calculadas com as observações da Época 1. Estas foram tidas como coordenadas de partida para o cálculo nas demais épocas.

ESTAÇÃO	COORDENADAS (m)	
	X	Y
1	100,000	100,000
4	101,067	94,660
3	105,232	92,281
2	103,137	96,965

QUADRO 8 - COORDENADAS CALCULADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE (LAIG II – UFPR)

O Quadro 9 apresenta as direções horizontais das cinco épocas, sendo utilizadas como base no cálculo da Recessão. Já no Quadro 10, são apresentados os ângulos horizontais obtidos em função da direção horizontal da estação de controle 1.

	DIREÇÕES HORIZONTAIS				
	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Época 5
$r_A$	0° 00' 00,0"	0° 00' 00,0"	0° 00' 00,0"	0° 00' 00,0"	0° 00' 00,0"
$r_B$	163° 03' 17"	163° 47' 18"	172° 52' 45"	161° 15' 59"	164° 51' 30"
$r_C$	138° 20' 52"	142° 48' 05"	146° 04' 43"	136° 58' 46"	139° 44' 28"

QUADRO 9 - DIREÇÕES HORIZONTAIS (LAIG II – UFPR)

	ÂNGULOS HORIZONTAIS				
	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Época 5
$\alpha$	163° 03' 17"	163° 47' 18"	172° 52' 45"	161° 15' 59"	164° 51' 30"
$\beta$	138° 20' 52"	142° 48' 05"	146° 04' 43"	136° 58' 46"	139° 44' 28"

QUADRO 10 - ÂNGULOS HORIZONTAIS (LAIG II – UFPR)

Após o cálculo destes, parte-se para o cálculo das coordenadas da Estação Ocupada. No Quadro 11, pode-se verificar as coordenadas ajustadas da Estação Ocupada para as cinco épocas e a sua variação pode ser visualizada no Gráfico 2.

EST. OCUP	COORDENADAS (m)				
	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4	Época 5
X	100,000	100,130	100,215	99,957	100,042
Y	98,163	98,118	98,148	98,213	98,135

QUADRO 11 - COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA (LAIG II – UFPR)

Vale ressaltar que o programa aplicou automaticamente os testes Data Snooping e Tau, para um nível de significância de 5%, com intuito de avaliar se as observações possuíam ou não erros grosseiros. Os resultados comprovaram que as mesmas estavam isentas de erros. Um outro teste aplicado foi o Qui-quadrado, este por sua vez, comprovou a qualidade do ajustamento. Todas as informações pertinentes ao Ajustamento, bem como aos testes estatísticos estão disponíveis no Apêndice A.

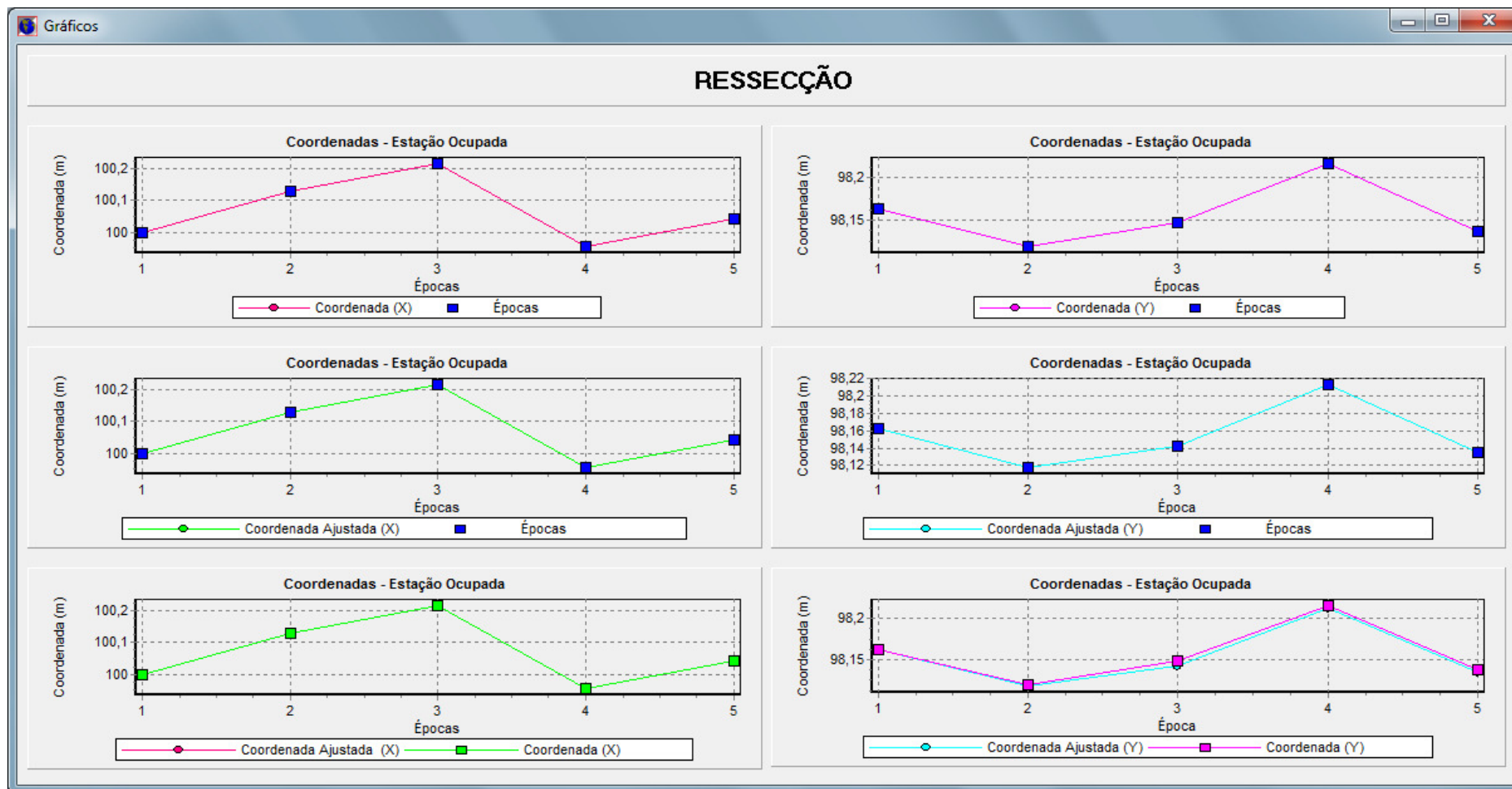


GRÁFICO 2 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA X ÉPOCAS DE MONITORAMENTO (GERADO PELO SAM) – LAIGII - UFPR

A partir das coordenadas da estação ocupada, obtidas pelo Método de Recessão, foram calculadas as coordenadas do ponto objeto, calculadas pelo método de irradiação, a serem visualizadas no Quadro 12. Neste quadro podem ser verificados também o desvio-padrão de cada coordenada, sendo este obtido pela propagação de erros (Apêndice A).

PTO OBJ	COORDENADAS DO PONTO OBJETO (m)									
	Época 1	$\sigma$	Época 2	$\sigma$	Época 3	$\sigma$	Época 4	$\sigma$	Época 5	$\sigma$
X	97,439	0,002	97,441	0,003	97,441	0,003	97,438	0,002	97,439	0,002
Y	96,267	0,002	96,268	0,002	96,267	0,002	96,263	0,002	96,264	0,002

QUADRO 12 - COORDENADAS CALCULADAS DO PONTO OBJETO (LAIG II – UFPR)

As coordenadas calculadas do ponto objeto, obtidas em épocas distintas, foram então comparadas com as coordenadas obtidas na Época 1, permitindo assim avaliar a qualidade dos resultados obtidos com a aplicação do Método de Recessão. Essas diferenças podem ser visualizadas nos Gráficos 3 e 4 (gerado pelo SAM).

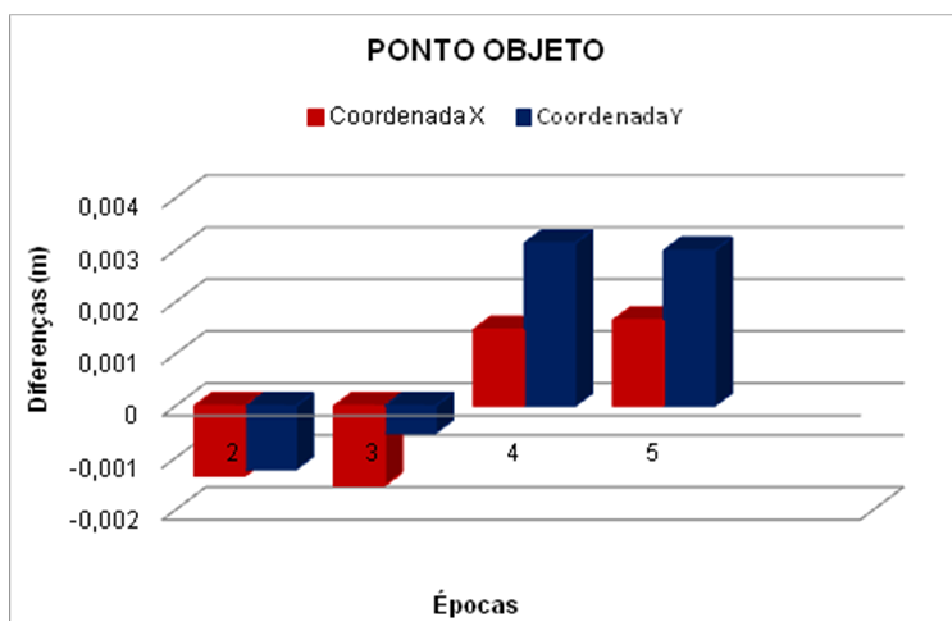


GRÁFICO 3 - COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 – LAIG II - UFPR

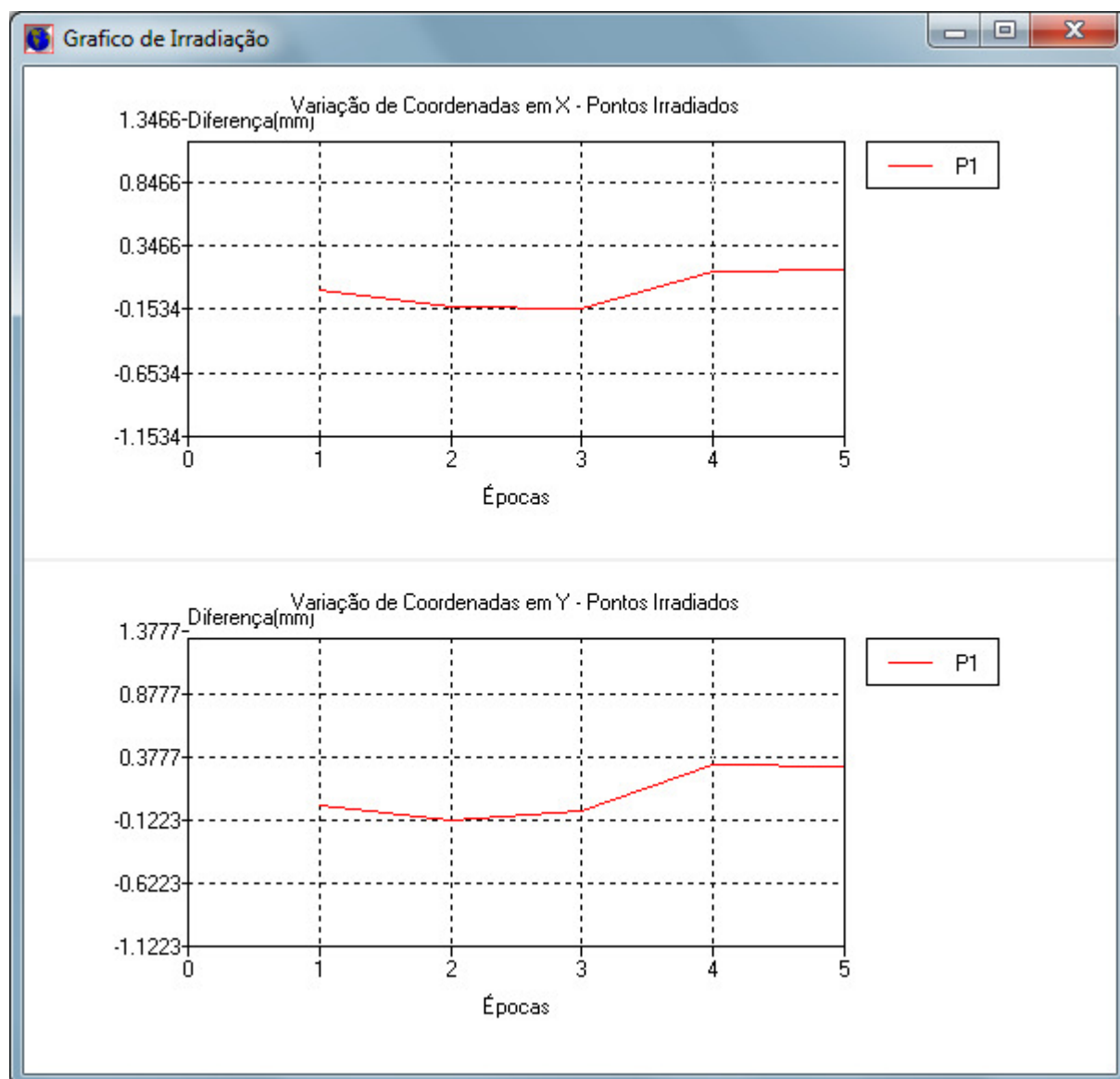


GRÁFICO 4 - COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 (GERADO PELO SAM) – LAIGII - UFPR

As discrepâncias encontradas foram da ordem de 1 a 3mm, portanto, dentro da precisão do equipamento. Caso esses valores não estivessem dentro dessa precisão, o programa emitiria uma mensagem (na tela) informando que pontos ultrapassaram a tolerância pré-estabelecida, informaria ainda a discrepância encontrada e o nome do ponto.

Com o intuito de avaliar se essas diferenças encontradas são significativas, aplicou-se um teste estatístico baseado numa distribuição F de Snedecor, a um nível de significância de 5%, item 4.1.1.4. Vale ressaltar que esse é um teste adicional e que o mesmo não foi implementado no programa.

Caso a hipótese  $H_0$  seja aceita isso significa que não existem diferenças significativas entre os deslocamentos ao longo dos experimentos.

Considerando  $n=4$  e  $p=2$ , obtém-se um valor Teórico de  $T^2$ :

$$\frac{(n-1)p}{n-p} F_{p, n-p} = \frac{(4-1)2}{4-2} F_{(0,05) 2,2} = 57$$

Sendo o valor obtido pela Equação (51):

$$T^2 = 1,08 \times 10^{-11}$$

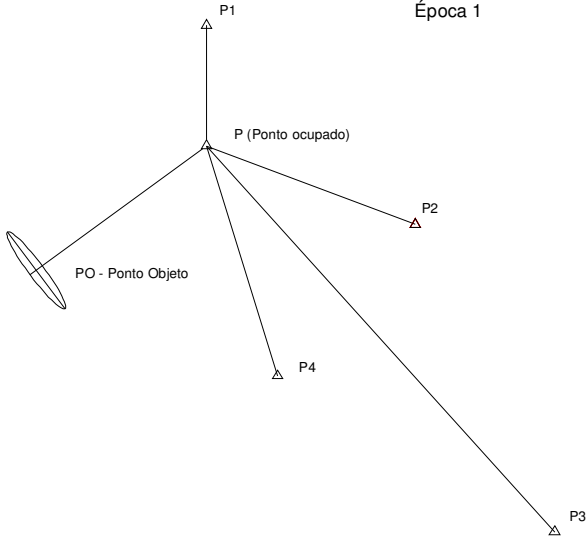
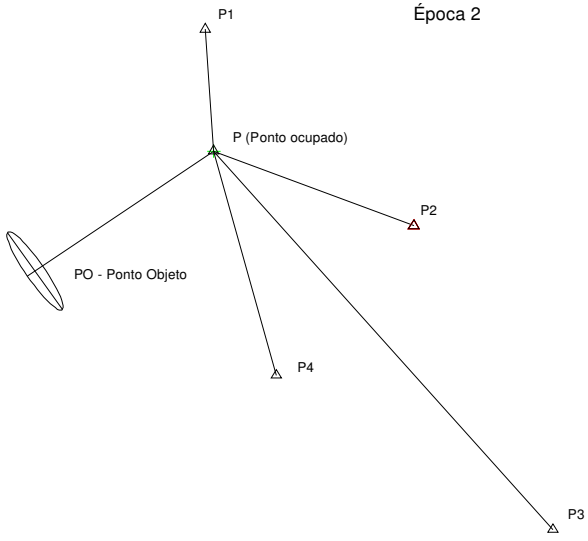
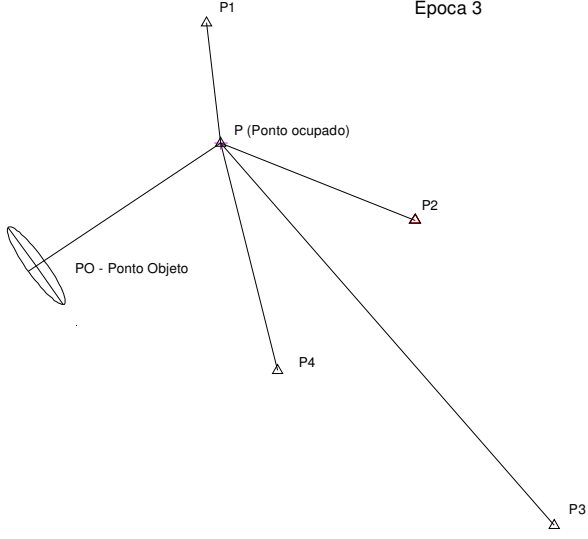
Como  $T^2 = 1,08 \times 10^{-11} < \frac{(n-1)p}{n-p} F_{p, n-p}$ , aceita-se a hipótese básica  $H_0$  a um nível de significância de 5%, isto é, não existe diferença significativa entre os valores obtidos na Época 1 e os valores obtidos nas demais épocas.

Após estimar as coordenadas dos pontos objetos, bem como suas precisões e verificar se as mesmas são ou não significativas, parte-se para a representação gráfica desses pontos e de suas precisões por meio da elipse de erros.

Na figura a seguir pode-se visualizar a elipse de erros, bem como a distribuição das estações de controle, estação ocupada e do ponto objeto em cada época do monitoramento. Vale salientar que as elipses foram desenhadas com nível de confiança de 95% e em escala de ampliação.

Todos os elementos da elipse de erros são calculados pelo SAM e podem ser vistos no Apêndice A.



<p>Época 1</p> 	<p><b>DISTÂNCIAS (m)</b></p> <p>Estações de Controle - Ponto Ocupado</p> <p>P1 - P = 1,837 P2 - P = 3,662 P3 - P = 7,872 P4 - P = 3,358</p> <p>Ponto Ocupado - Ponto Objeto</p> <p>P - P0 = 3,186</p> <p><b>ELIPSES (m) - NC 95%</b> Ponto objeto</p> <p>Semi-eixo Maior = 0,007 Semi-eixo Menor = 0,001</p> <p>Azimute Semi-eixo Maior = 143° 28' 54"</p>
<p>Época 2</p> 	<p><b>DISTÂNCIAS (m)</b></p> <p>Estações de Controle - Ponto Ocupado</p> <p>P1 - P = 1,886 P2 - P = 3,583 P3 - P = 7,752 P4 - P = 3,220</p> <p>Ponto Ocupado - Ponto Objeto</p> <p>P - P0 = 3,264</p> <p><b>ELIPSES (m) - NC 95%</b> Ponto objeto</p> <p>Semi-eixo Maior = 0,007 Semi-eixo Menor = 0,001</p> <p>Azimute Semi-eixo Maior = 145° 28' 33"</p>
<p>Época 3</p> 	<p><b>DISTÂNCIAS (m)</b></p> <p>Estações de Controle - Ponto Ocupado</p> <p>P1 - P = 1,864 P2 - P = 3,591 P3 - P = 7,720 P4 - P = 3,152</p> <p>Ponto Ocupado - Ponto Objeto</p> <p>P - P0 = 3,352</p> <p><b>ELIPSES (m) - NC 95%</b> Ponto objeto</p> <p>Semi-eixo Maior = 0,007 Semi-eixo Menor = 0,001</p> <p>Azimute Semi-eixo Maior = 145° 56' 08"</p>

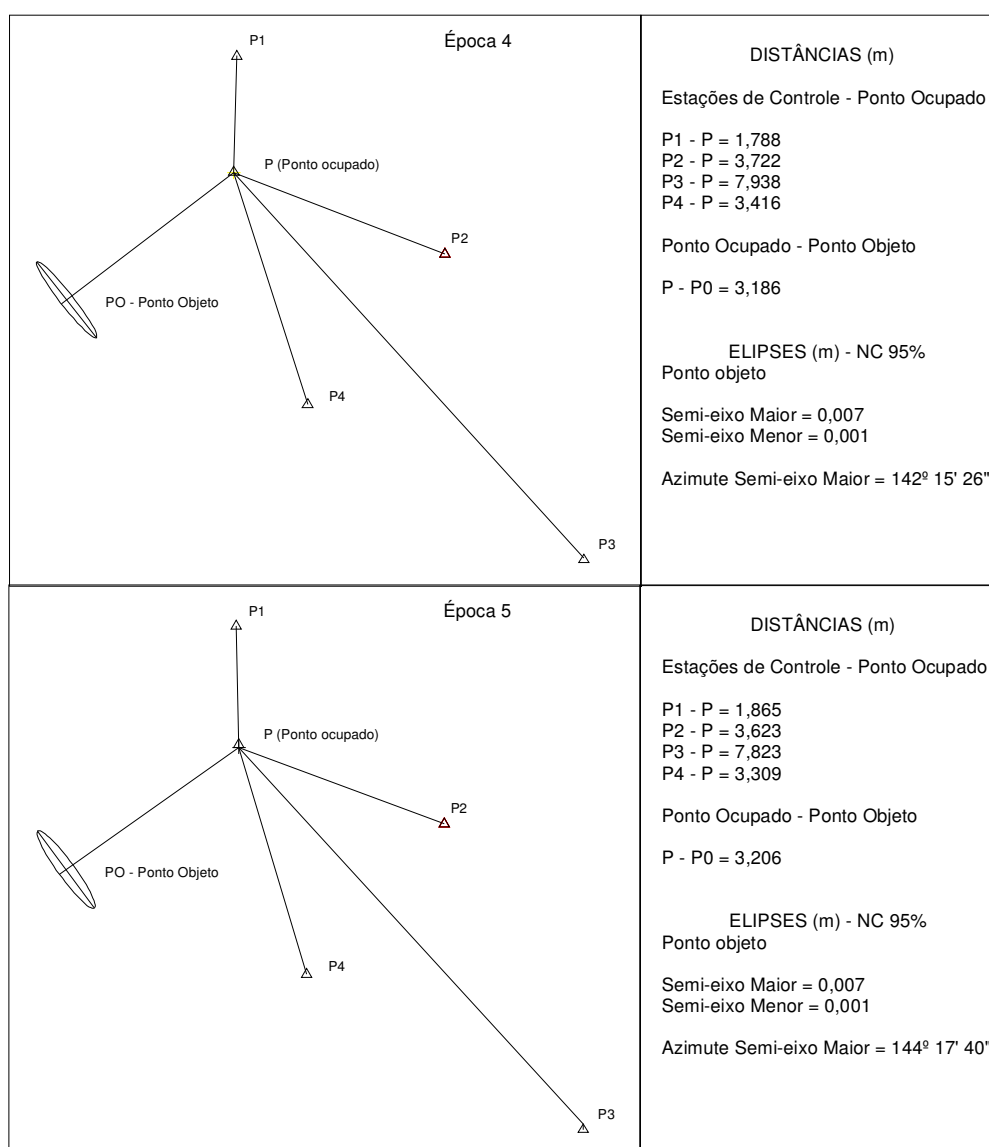


FIGURA 38 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS E ELIPSE DE ERROS – LAIGII (UTFPR)  
FONTE: O autor (2012)

#### 4.3.3 Experimento – UTFPR

Foram realizados dois levantamentos na UTFPR, no dia 26 de setembro de 2011, totalizando duas épocas de observações. Os procedimentos de coleta, processamento e análise foram os mesmos descritos no item 4.3.2. Foram definidos quatro estações de controle e dois pontos objeto. Os resultados obtidos para a

primeira época do monitoramento foram considerados isentos de deslocamentos. Já na segunda época de observações, tanto a estação total quanto um dos pontos objeto foram posicionados em locais distintos. O intuito foi verificar se o programa conseguiria identificar esse deslocamento e se conseguiria determinar a coordenada do outro ponto objeto que não sofreu deslocamento.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos em todas as épocas de monitoramento.

As coordenadas das estações de controle para a Época 1 podem ser verificadas no Quadro 13, sendo consideradas como coordenadas de partida para a Época 2.

ESTAÇÃO	COORDENADAS (m)	
	X	Y
1	100,000	100,000
4	105,447	97,124
3	106,538	99,152
2	102,853	100,444

QUADRO 13 - COORDENADAS CALCULADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE (UTFPR)

As direções horizontais, bem como os ângulos horizontais utilizados no cálculo da Recessão podem ser vistos nos Quadro 14 e 15.

	DIREÇÕES HORIZONTAIS	
	Época 1	Época 2
$r_A$	0° 00' 00"	10° 24' 17"
$r_B$	77° 25' 53"	87° 36' 18"
$r_C$	63° 37' 17"	73° 35' 41"

QUADRO 14 - DIREÇÕES HORIZONTAIS (UTFPR)

	ÂNGULOS HORIZONTAIS	
	Época 1	Época 2
$\alpha$	77° 25' 53"	77° 12' 01"
$\beta$	63° 37' 17"	63° 11' 24"

QUADRO 15 - ÂNGULOS HORIZONTAIS (UTFPR)

Já as coordenadas ajustadas da Estação Ocupada para as duas épocas e a sua variação podem ser visualizadas no Gráfico 5 e no Quadro 16.

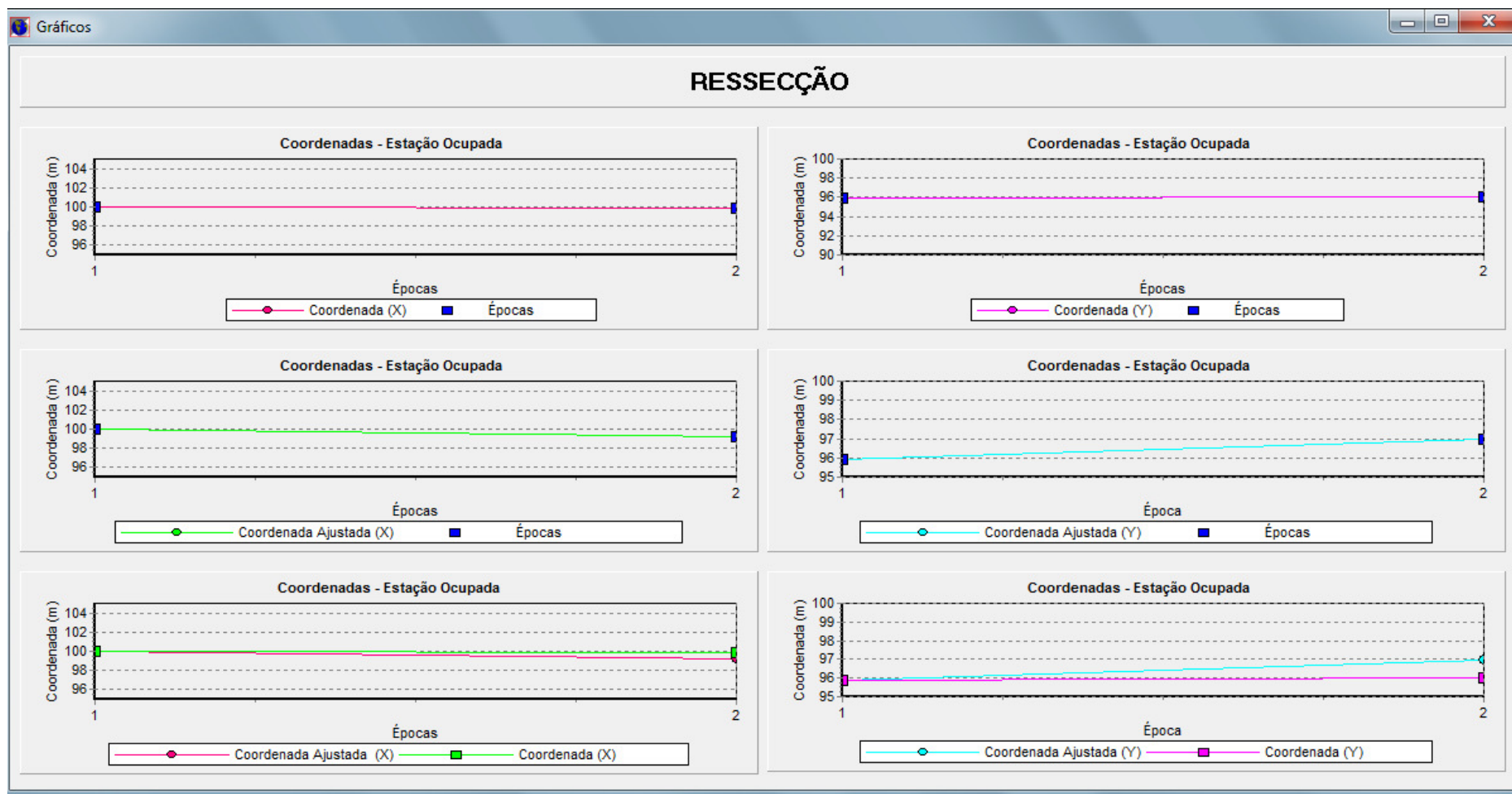


GRÁFICO 5 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA X ÉPOCAS DE MONITORAMENTO (GERADO PELO SAM) - UTFPR

EST. OCUP	COORDENADAS (m)	
	Época 1	Época 2
X	100,000	99,853
Y	95,910	96,305

QUADRO 16 - COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA (UTFPR)

No final do monitoramento, testes estatísticos Data Snooping e Tau foram aplicados para um nível de significância de 5%, bem como o teste Qui-quadrado. Todas as informações pertinentes ao Ajustamento, bem como aos testes estatísticos estão disponíveis no Apêndice B.

No Quadro 17 podem ser vista as coordenadas dos pontos objetos, bem como suas precisões obtidas pela propagação de erros, ver item 3.2.2. As diferenças entre essas coordenadas podem ser visualizadas nos Gráficos 6 e 7 (gerado pelo SAM). O ponto P1 teve sua posição deslocada entre as duas épocas de medição.

PTOS OBJETO		COORD. PONTO OBJETO (m)			
		Época 1	$\sigma$	Época 2	$\sigma$
P1	X	104,784	0,003	104,508	0,003
	Y	94,147	0,001	94,465	0,002
P2	X	103,596	0,002	103,597	0,002
	Y	93,101	0,002	93,102	0,002

QUADRO 17 - COORDENADAS CALCULADAS DO PONTO OBJETO (UTFPR)

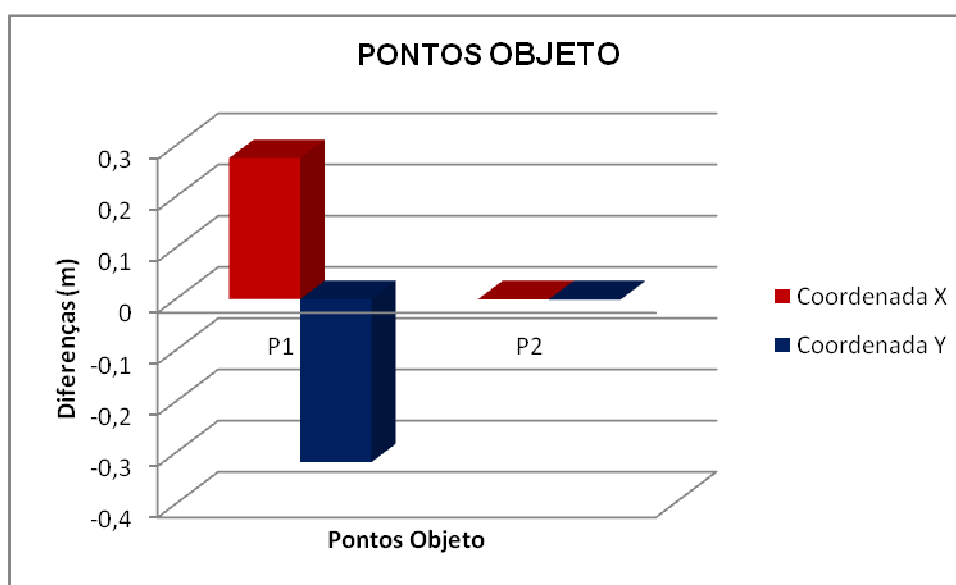


GRÁFICO 6 - COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 - UTFPR

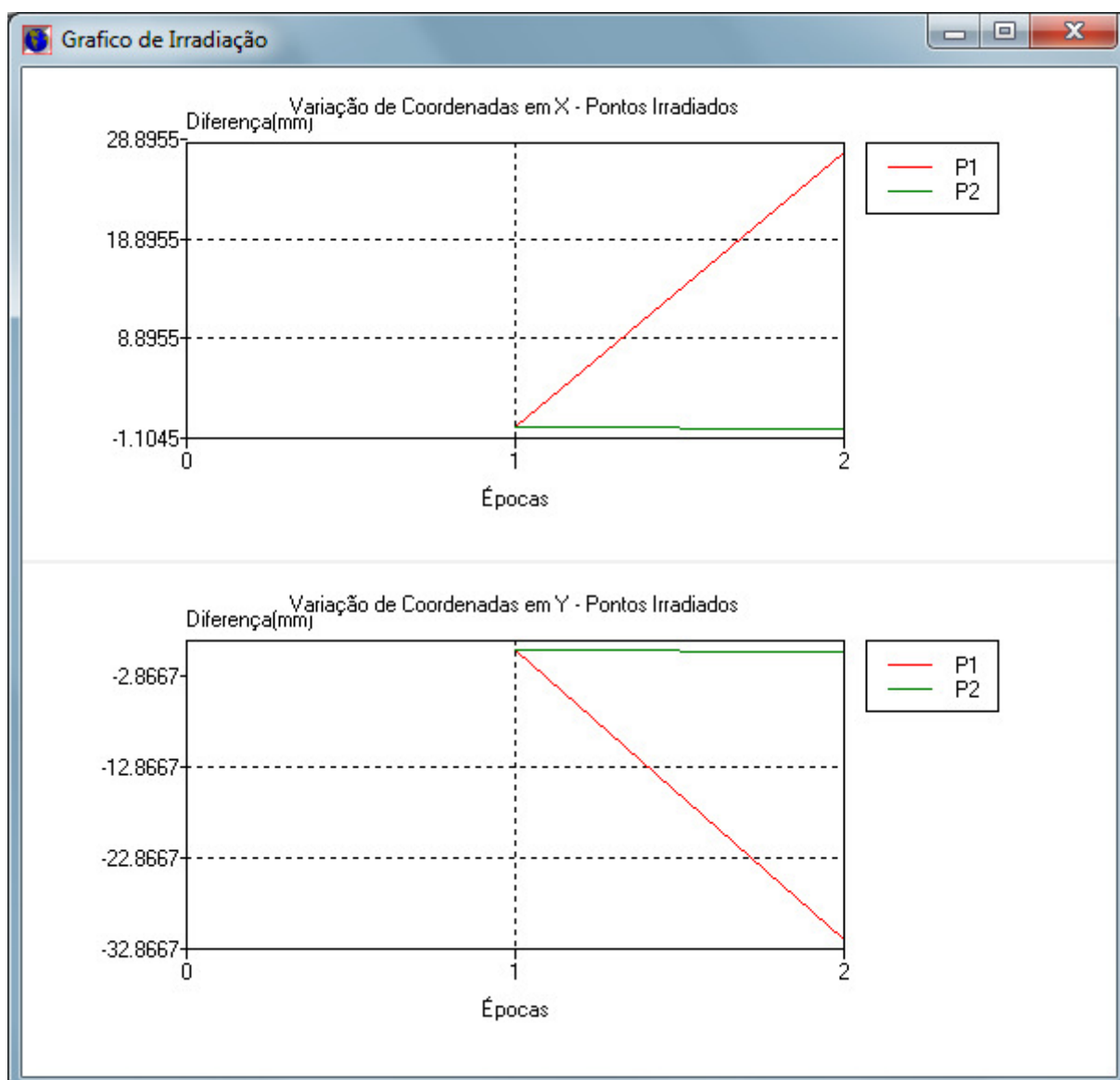


GRÁFICO 7 - COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 (GERADO PELO SAM) - UTFPR

As discrepâncias encontradas para o ponto P2 foram da ordem de 1 mm, portanto, dentro da precisão do equipamento. Já as encontradas para o ponto P1 foram de aproximadamente 27 cm em X e de 32 cm em Y, ou seja, superiores à tolerância pré-estabelecida. Isso demonstra que o programa conseguiu detectar e quantificar o deslocamento simulado. Para tanto, o mesmo emite uma mensagem avisando que o ponto P1 apresenta discrepância em sua coordenadas superiores as tolerâncias pré-definidas.

Na figura a seguir, pode-se visualizar a elipse de erros, isto é, a representação da posição dos pontos, bem como de suas precisões, expressando assim, graficamente, a incerteza posicional de um ponto,

Os elementos da elipse de erros foram calculados diretamente pelo SAM e seus resultados podem ser vistos no Apêndice B.

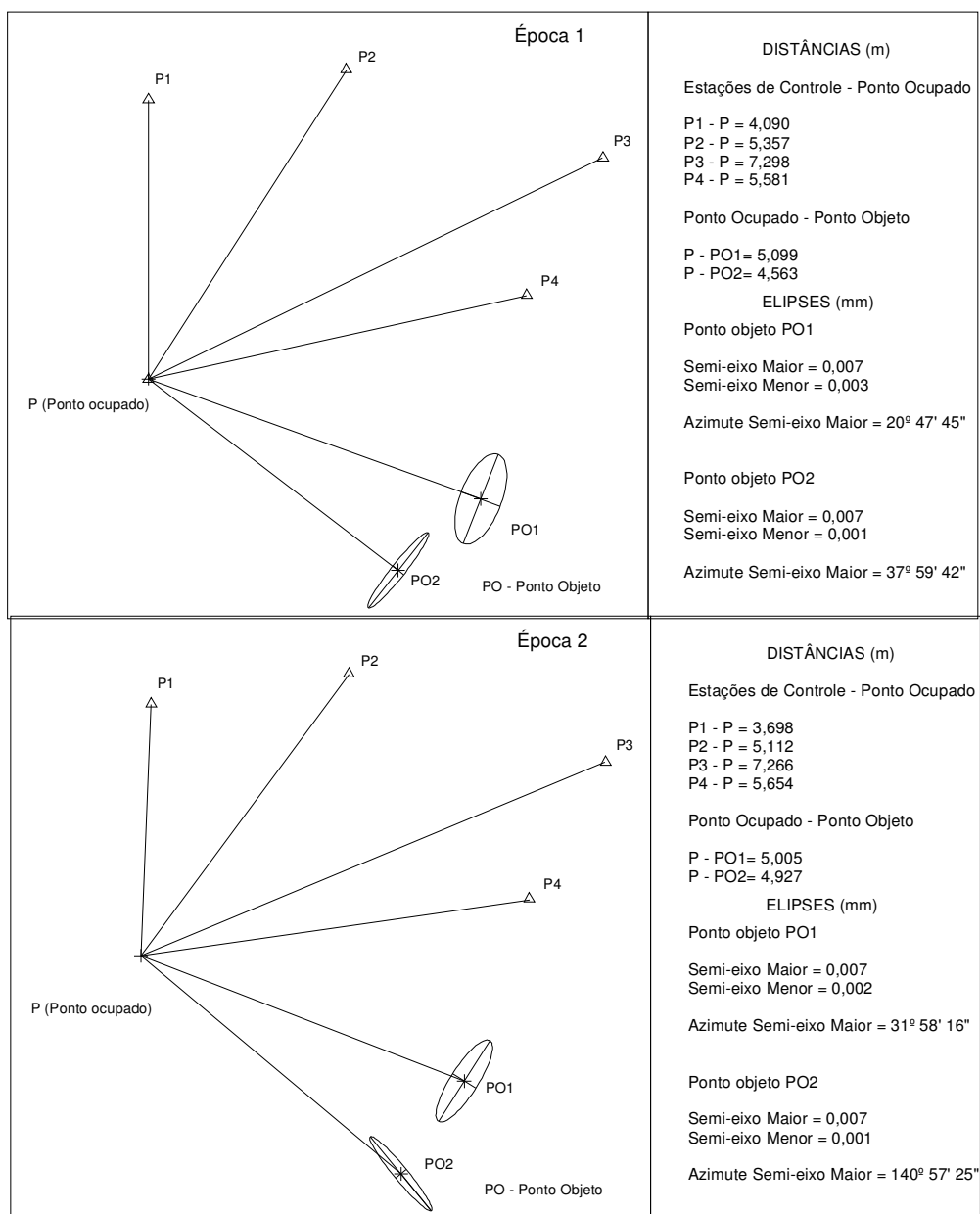


FIGURA 39 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS E ELIPSE DE ERROS – UTFPR

FONTE: O autor (2012)

#### 4.3.4 Experimento – LAIG - INTERFEROMETRO

Um último experimento foi realizado no LAIG, em maio de 2012, tendo como objetivo simular o deslocamento de um objeto e quantificá-lo. Neste experimento utilizou-se a estação total para realizar as medições de direções, ângulos e distâncias e um Interferômetro *laser* Hewlett Packard modelo 5508A, com precisão, nas condições em que encontra-se instalado no Laboratório de Instrumentação Geodésica da Universidade Federal do Paraná LAIG-UFPR, de  $\pm 0,010\text{mm}$  (FAGGION et al., 2008), para determinar com acurácia o afastamento entre os pontos objetos.

Assim sendo, foram distribuídos quatro pontos de controle no LAIG e sobre o Interferômetro posicionou-se um ponto objeto, materializado por um prisma refletor. Como o objetivo era controlar o deslocamento e verificar se o sistema conseguiria quantificá-lo, optou-se por locar o ponto objeto em duas posições distintas no interferômetro, isto é, na primeira época de observação um prisma foi colocado em uma posição inicial, registrada no interferômetro com o valor 100.00mm. Foram realizadas três séries de observações de direções, ângulos e distâncias, caracterizando assim primeira posição do ponto objeto.

Posteriormente, deslocou-se o mesmo para a posição 105.00mm, sendo também realizadas as séries de observações. Definiu-se assim a segunda posição do ponto objeto. Esse levantamento com o auxílio do interferômetro permitiu controlar o deslocamento do ponto objeto.

As medições que caracterizaram a segunda época desenvolveram-se seguindo o mesmo processo, sendo modificado somente o local onde a estação total foi instalada.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos em todas as épocas de monitoramento. No Quadro 18, podem ser visualizadas as coordenadas das estações de controle para a Época 1, consideradas como coordenadas de partida para a Época 2.



ESTAÇÃO	COORDENADAS (m)	
	X	Y
1	100,000	100,000
4	95,910	95,300
3	96,023	93,732
2	100,366	94,121

QUADRO 18 - COORDENADAS CALCULADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE (LAIG)

Nos Quadros 19 e 20 apresentam-se as direções horizontais, bem como os ângulos horizontais utilizados no cálculo da Recessão.

	DIREÇÕES HORIZONTAIS	
	Época 1	Época 2
$r_A$	69° 21' 58"	57° 34' 21"
$r_B$	195° 35' 41"	197° 12' 19"
$r_C$	189° 43' 2"	189° 19' 29"

QUADRO 19 - DIREÇÕES HORIZONTAIS (LAIG)

	ÂNGULOS HORIZONTAIS	
	Época 1	Época 2
$\alpha$	126° 13' 43"	139° 37' 58"
$\beta$	120° 21' 14"	131° 45' 8"

QUADRO 20 - ÂNGULOS HORIZONTAIS (LAIG)

Já as coordenadas ajustadas da Estação Ocupada para as duas épocas e a sua variação podem ser visualizadas no Quadro 21 e no Gráfico 8.

EST. OCUP	COORDENADAS (m)	
	Época 1	Época 2
X	96,896	96,946
Y	98,831	98,227

QUADRO 21 - COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA (LAIG)

Ressalta-se que o SAM realiza após o ajustamento, de forma automática, os testes estatísticos *Data Snooping* e *Tau*, bem como o Qui-quadrado. Cabe salientar ainda que todas as informações pertinentes ao monitoramento podem ser visualizadas em relatórios gerados pelo mesmo, ver Apêndice C.

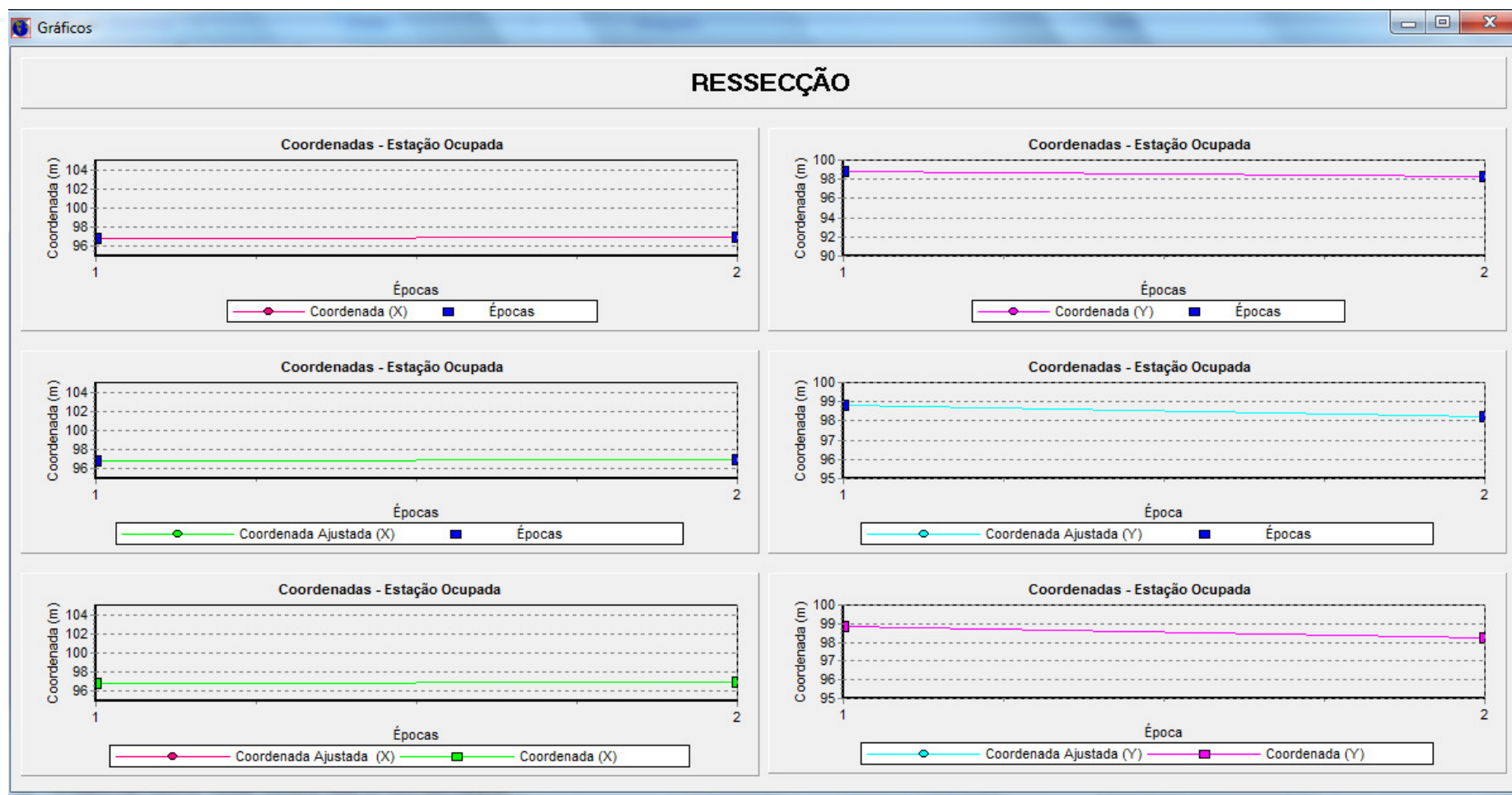


GRÁFICO 8 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO OCUPADA X ÉPOCAS DE MONITORAMENTO (GERADO PELO SAM) - LAIG

A partir das coordenadas da estação ocupada, calcularam-se pelo método de irradiação, as coordenadas dos pontos objetos para as duas épocas de observação (Quadro 22). O ponto objeto 1, refere-se ao prisma locado na posição 100.00mm registrada pelo interferômetro e o ponto 2, a posição 105.00mm registrada pelo mesmo. Além do cálculo das coordenadas, realizou-se a propagação de erros para as mesmas, isto é, a partir das fórmulas dispostas no item 3.2.2 pode-se estimar as suas precisões.

PTOS OBJETO		COORD. PONTO OBJETO (m)			
		Época 1	$\sigma$	Época 2	$\sigma$
P1	X	101,285	0,003	101,287	0,003
	Y	99,427	0,001	99,428	0,001
P2	X	101,285	0,003	101,287	0,003
	Y	99,422	0,001	99,423	0,001

QUADRO 22 - COORDENADAS CALCULADAS DO PONTO OBJETO (LAIG)

Ao se comparar os resultados obtidos para as duas épocas de monitoramento pode observar que as discrepâncias encontradas para o ponto P1 e P2 foram iguais ou inferiores a 2 mm, portanto, dentro da precisão do equipamento. Já na questão do deslocamento controlado, verifica-se que o SAM conseguiu detectar e quantificar o mesmo, isso pode ser comprovado analisando-se as diferenças entre as coordenadas do P1 e P2 na época 1, onde em X não houve deslocamento e em Y detectou-se 5mm, exatamente o valor pré-estabelecido pelo interferômetro no monitoramento. Nos valores obtidos na época 2, verifica-se que o mesmo ocorreu, ou seja, foi detectado um deslocamento de 5mm em Y, entre os pontos P1 e P2.

As diferenças entre as coordenadas dos pontos objetos podem ser visualizadas nos Gráficos 9 e 10 (gerado pelo SAM).

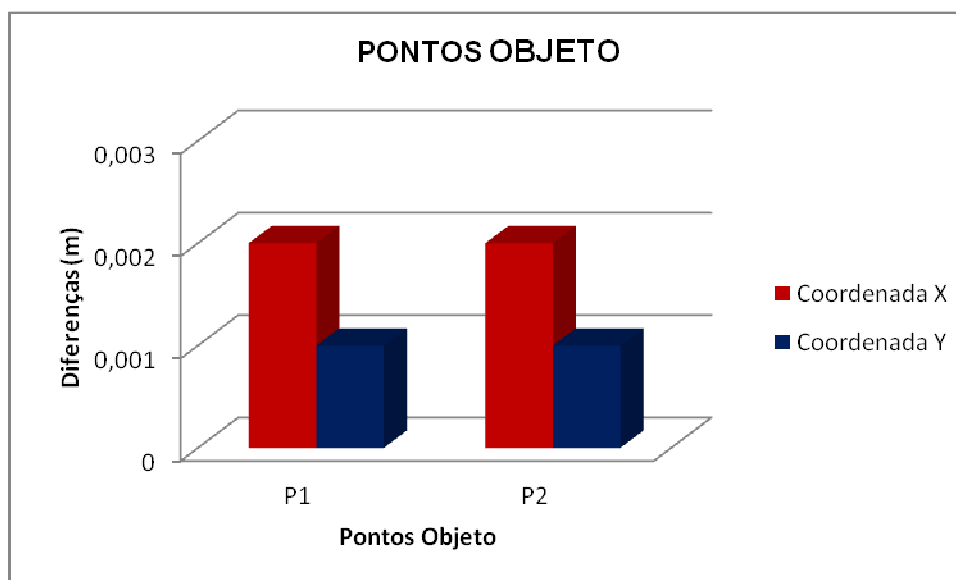


GRÁFICO 9 - COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 – LAIG

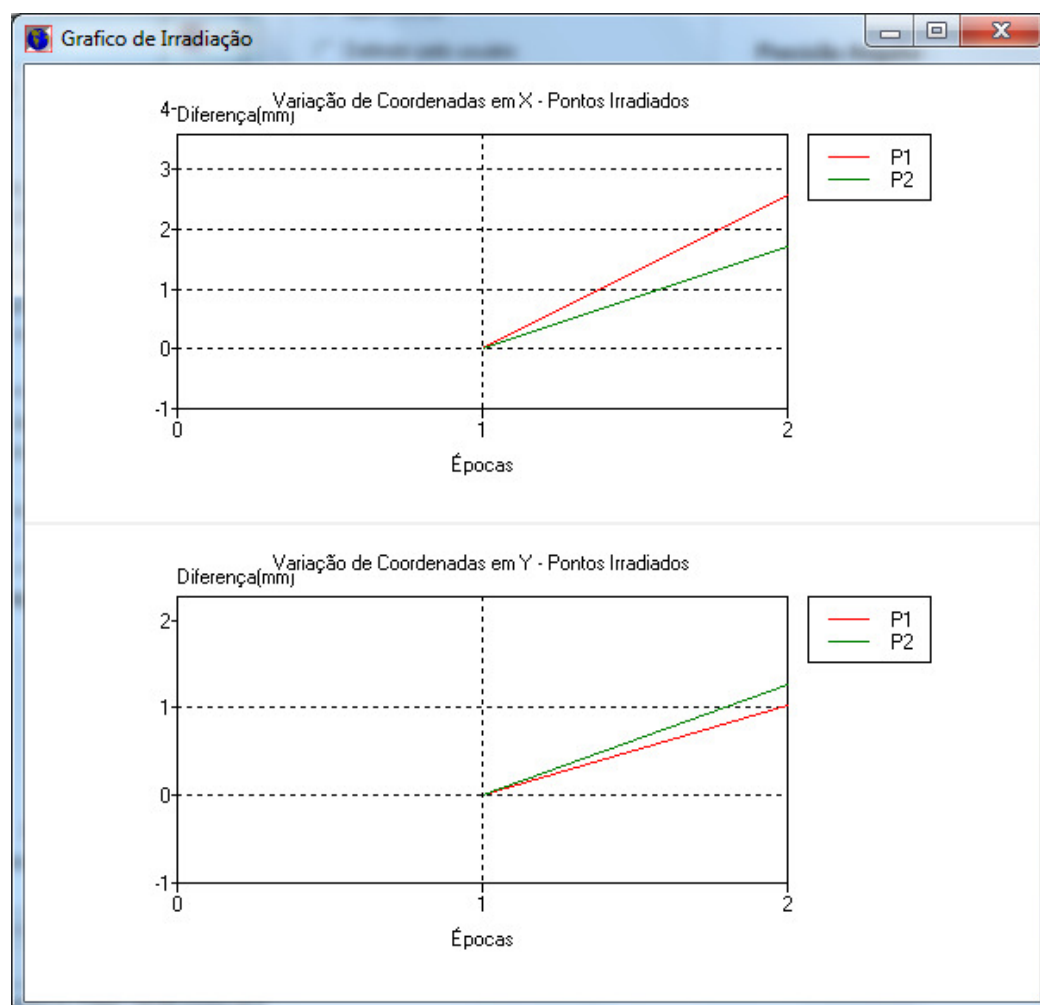


GRÁFICO 10 - COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS DO PONTO OBJETO – ÉPOCA DE REFERÊNCIA ÉPOCA 1 (GERADO PELO SAM) - LAIG

Após definir as posições de pontos e as suas precisões, partiu-se para a representação gráfica tanto da posição relativa dos pontos quanto de suas precisões, sendo que esta representação pode ser visualizada pela elipse de erros (Figura 40). Vale ressaltar que o SAM calcula todos os elementos da elipse de erros, mas não gera um gráfico das mesmas.

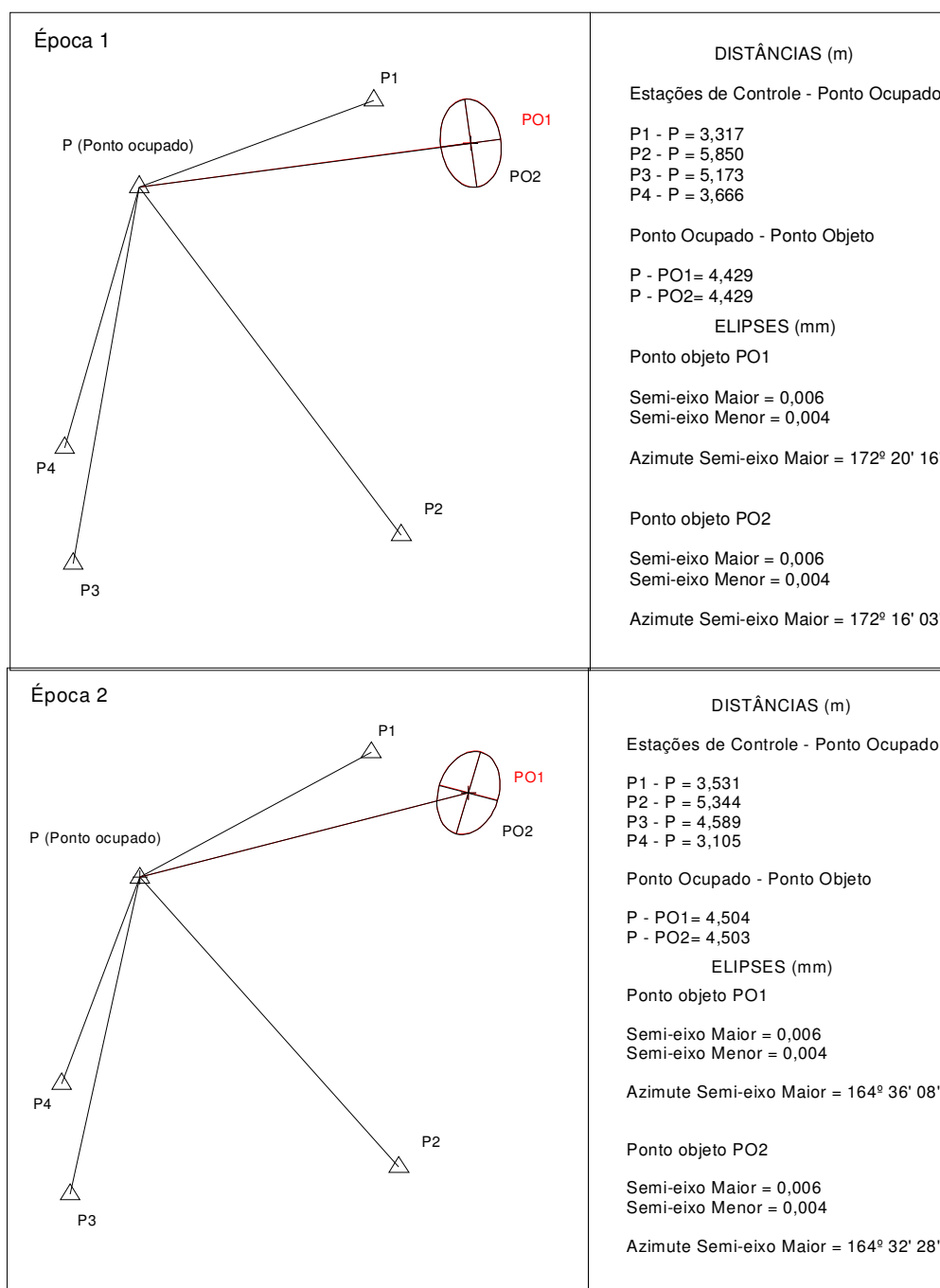


FIGURA 40 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS E ELIPSE DE ERROS - LAIG

FONTE: O autor (2012)

## 5 CONCLUSOES

Um Sistema de Monitoramento requer o conhecimento dos instrumentos a serem utilizados, técnicas de medição, métodos de ajustamento e testes estatísticos a serem aplicados, de como se dará a comunicação e transferência dos dados, bem como o seu armazenamento e representação gráfica. O sistema desenvolvido nesta tese atende a todos estes requisitos, mostrando-se eficaz para a determinação de coordenadas de pontos monitorados em tempo real, bem como para a avaliação dos resultados obtidos.

Para que esses requisitos fossem atendidos, estudos foram realizados para se determinar quais métodos de medição seriam utilizados, instrumental, testes, entre outros elementos. Como métodos, foram empregados o de Recessão e de Irradiação.

O método de Recessão aplicado nos testes realizados mostrou-se viável para a utilização no monitoramento de áreas instáveis. Seu emprego possibilitou verificar que não existe a necessidade de se fixar um ponto para a instalação do equipamento, desde que se tenham três ou mais pontos fora da área de instabilidade é possível determinar a coordenada do ponto onde o equipamento está estacionado e a partir dela calcular as coordenadas dos pontos objeto, isso por meio da Irradiação.

Conforme experimentos realizados, os resultados obtidos com a aplicação do Método de Recessão mostraram-se satisfatórios. Apesar de terem sido detectadas discrepâncias da ordem de milímetros, as mesmas são consideradas não significativas, tendo em vista que estão dentro da precisão nominal do equipamento.

Testes estatísticos foram realizados para se avaliar os resultados. Os mesmos comprovaram a qualidade no ajustamento, bem como a não existência de erros grosseiros nas observações. Quanto ao teste aplicado para verificar se as discrepâncias encontradas entre as coordenadas dos pontos objetos, obtidas em épocas distintas, foram ou não significativas, o mesmo comprovou que não existia diferenças significativas entre as mesmas.

Todos esses elementos foram contemplados dentro de programas desenvolvidos em Linguagem Borland Delphi 7.0. O primeiro foi implementado para realizar o cálculo das coordenadas da estação ocupada pelo método de Recessão.

Este se baseou somente em coordenadas conhecidas de estações de controle e ângulos horizontais definidos entre elas.

O segundo programa reuniu todos os elementos necessários para a caracterização de um Sistema de Monitoramento, sendo denominado de SAM – Sistema Semi-Automatizado para Monitoramento. No SAM é possível trabalhar com séries de observações, processamento dos dados, aplicação de testes estatísticos, geração de gráficos e relatórios. O mesmo opera de forma semi-automatizada o que garante rapidez no processamento e análise dos resultados.

Avaliando-se esses elementos constatou-se que o SAM desenvolvido nesta tese atendeu a todos os requisitos básicos necessários, o que pode ser comprovado nos testes de validação. Apresentou ainda, resultados satisfatórios quanto da sua utilização no monitoramento geodésico, pois respondeu com resultados coerentes a realidade em questão, bem como permitiu que os mesmos fossem apresentados logo após a realização das medições - a ideia principal do desenvolvimento do sistema.

Assim, a área de Geodésia aplicada ao monitoramento passa a ter disponível mais uma ferramenta para auxiliar no monitoramento de pontos. Ferramenta esta de fácil utilização, que ajudará na tomada de decisão em tempo real, durante o próprio decorrer do monitoramento.

Vale ressaltar que as correções atmosféricas nas medidas de distâncias foram realizadas no programa Matlab. Como as variações não foram significativas, os valores medidos foram praticamente os valores corrigidos. Essa operação não foi realizada de forma automatizada, pois os sensores existentes na UFPR, mais precisamente o pertencente ao LAIG, não permitiu que observações fossem realizadas e descarregadas.

Sugerem-se como recomendações:

- Acoplar ao sistema sensores meteorológicos, o que possibilitará que as distâncias sejam corrigidas, em tempo-real, das influências dos fatores atmosféricos;
- Implementar outros testes estatísticos para avaliação dos deslocamentos obtidos;
- Habilitar o sistema para ser utilizado com diferentes estações totais;
- Implementar a determinação e análise da componente altimétrica Z.

- Implementar outros modelos de ajustamento ao SAM, bem como outros métodos de medição;
- Realizar experimentos considerando a circunferência perigosa, tendo em vista que a mesma possibilita um melhor posicionamento do ponto sobre o qual o equipamento está instalado;
- Modificar o SAM para que o mesmo possa controlar de forma remota a coleta de dados, e que esta possa ser feita de forma totalmente automatizada;
- Em casos críticos, operar com um sistema de alarme que envie mensagens avisando de possíveis deslocamentos.



## REFERÊNCIAS

ACIDENTE em obra do metrô abre cratera em São Paulo. **Aquidauana News**. Disponível em: <[http://www.aquidauananews.com/index.php?action=news\\_view&news\\_id=99951](http://www.aquidauananews.com/index.php?action=news_view&news_id=99951)>. Acesso em: janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.133 – Execução de Levantamentos Topográficos**. Rio de Janeiro, 1994.

BAARDA, W. A testing procedure for use in geodetic networks. **Netherlands Geodetic Commission – Publication on Geodesy – News Series**, v.2, n.5, 1968.

CARVALHO, A. M. B. R. **Introdução à engenharia de programa**. Campinas: Unicamp, 2001.

CHEN, Y. Q. Analysis of deformation surveys – a generalized method. **Technical Report**, n. 94. New Brunswick: Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, 1983.

CHYZANOWSKI, A. Geotechnical and other non-geodetic methods in deformation measurements. In: DEFORMATION MEASUREMENTS WORKSHOP, 1986, Massachusetts. **Proceedings**...Massachusetts: 1986.

CHYZANOWSKI, A.; SZOSTAK-CHYZANOWSKI, A. Automation of deformation monitoring techniques and integration with prediction modelling. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton. **GEOMATICA**, v. 64, n. 2, 2009.

DUPRAZ, H. **Theorie des erreurs 2 – Statistique et calculs de compensation appliqués à la Géodesie et à la mensuration**. Lausanne: Institut des Mensurations, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 1985.

FAGGION, P. L.; SILVA, T. F.; ANDOLFATO, S. H. D.; SANTOS, D. P. dos. **Calibração de mira horizontal de invar e sua aplicação na determinação de distâncias com alta precisão**. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife- PE, 2008.

FAGGION, P. L. **Obtenção dos elementos de calibração e certificação de medidores eletrônicos de distância em campo e laboratório**. Tese (Doutorado

em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

FERREIRA, R. et al. State of the art total stations. A look at new technologies. **GIM International**, v. 25, n. 10, outubro/2011. Disponível em: < [http://www.gim-international.com/issues/articles/id1782-Stateoftheart\\_Total\\_Stations.html](http://www.gim-international.com/issues/articles/id1782-Stateoftheart_Total_Stations.html)>. Acesso em: outubro, 2011.

FOPPE, K. et al. Autonomous permanent automatic monitoring system with robot-tacheometers. In: FIG INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DEFORMATION MEASUREMENTS, 23., 2006, Munich. **Proceedings**...Munich: FIG, 2006.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de observações**: aplicações geodésicas. Curitiba: UFPR, 1994.

KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Berlin: Walter de Gruyter, 1988.

KUANG, S. **Geodetic network analisys and optimal design**: concepts and applications. Chelsea: Ann Arbor Press, 1996.

LEICA GEOSYSTEMS. **Leica GeoMoS**: Are you interested in movements? Disponível em: <<http://www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=1525>>. Acesso em: janeiro, 2007.

LEICK, A. **GPS**: satellite surveying. 2. ed. New York.: John Wiley & Sons, 2004.

LUTES, J. A. **Automated dam displacement monitoring using a robotic total station. Technical Report**, n. 214. New Brunswick: Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, 2002. Disponível em: <<http://gge.unb.ca/Pubs/TR214.pdf>> . Acesso em: fevereiro, 2006.

LUTES, J. A. et al. Dimons' software for automatic data collection and automatic deformation analysis. In: FIG INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DEFORMATION MEASUREMENTS, 10., 2001, Orange. **Proceedings**...Orange: FIG, 2001.

MARQUES, J. M. **O método da análise de componentes principais na detecção e identificação de outliers múltiplos em fototriangulação**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

MIRANDA, F. D. A. **Metodologia para o monitoramento de pontos em áreas instáveis empregando-se estações totais.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

MORAES, C. V. Caracterização de extremas no espaço geométrico: fundamentos jurídicos e geodésicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 53, 2001.

MORAES, C. V. Análise de erros grosseiros e confiabilidade de redes geodésicas. **Cartografia e Cadastro**, n. 8, 1998.

NADAL, M. A. D. **Controle e operação remota de estações totais robotizadas voltado à auscultação geodésica.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

NARUMI, T. Compensador das estações totais. **Revista INFOGEO**. Novembro/Dezembro, 2000.

NEVES, R. V. **Processamento e análise de levantamentos geodésicos aplicado ao monitoramento de estruturas civis.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

NETO, V. S. **Comunicação de dados.** São Paulo: Erica, 1993.

PACILÉO NETTO, N.; BLITZKOW, D.; BUENO, R. F. ; FONSECA JR, E. S. da; MAZZILLI, C. E. N.; LACHAPELLE, G. Monitoramento de Deslocamentos em Estruturas com GPS. In: 3 ASAMBLEA HISPANO-PORTUGUESA GEODESIA E GEOFISICA, 2002, Valencia. **Proceedings**...Valencia : UPV, 2002.

PAIVA, J. V. R.; STENMARK, J. 2 – Axis Compensators. **Professional Surveyor Magazine**. September, 2002. Disponível em: <[www.profsurv.com](http://www.profsurv.com)>. Acesso em: agosto, 2007.

PEREIRA, J. B. J. **Comunicação de dados.** 2. ed. Apostila do Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Goiás, 2002.

RAMOS, F. F.; RODRIGUES, D. D.; ANDRADE, R. J. O. **Avaliação da precisão de posicionamentos por interseção angular a ré.** II Simpósio Brasileiro de Geomática

e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente – SP, 2007.

RIO: novo deslizamento atinge túnel Rebouças. **Terra Notícias**. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/brasil/interna/0,,OI2019969-EI8139,00.html>>. Acesso em: abril, 2008.

RODRIGUES, D. D. **Técnicas topográficas para posicionamento planimétrico, com estimativa de precisão**. Notas de aula, Universidade Federal de Viçosa, edição do autor, 2007.

RÜEGER, J. M. **Electronic distance measurement: an introduction**. 3. ed. Berlin: Springer-Verlag., 1996.

SECORD, J. M. **Development the automatic data management and the analysis of integrated deformation measurements. Technical Report**, n. 176. New Brunswick: Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, 1995. Disponível em: <<http://gge.unb.ca/Pubs/TR176.pdf>>. Acesso em: fevereiro, 2006.

SHIBAYAMA, E. M. **Automação do processo de coleta e verificação de dados obtidos com estações totais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

TEUNISSEN, P.J.G. **Testing theory: an introduction**. Delft: Delft University Press, 2000.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Structural deformation surveying**. Engineer Manual. [S.l], 2002.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Deformation monitoring and control survey**. Engineer Manual. [S.l], 1994.

VEIGA, L.A.K. **Topografia Automatizada**. Curso de Especialização Em Geotecnologias – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

VEIGA, L. A. K. et al. **Mapa: Universidade Federal do Paraná - Campus Cidade Universitária**. Curitiba, 2001. Escala 1:2000.

WILKINS, R., BASTIN, G.; CHRZANOWSKI, A. ALERT-A fully automated real time monitoring system. In: FIG INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DEFORMATION MEASUREMENTS, 11., 2003a, Santorini. **Proceedings...**Santorini: FIG, 2003a.

WILKINS, R., BASTIN, G.; CHRZANOWSKI, A. ALERT-A fully automated displacement monitoring system. In: CAMI CONFERENCE, 2003b, Calgary. **Proceedings...**Calgary: CAMI, 2003b.

WOLF, P. R.; BRINKER, R. C. **Elementary Surveying**. New York: Harper Collins College Publishers, 1994.

## REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ANGUS-LEPPAN, P. V. Adjustment of trilateration using length ratios. **Survey Review**, v. 21, n. 166, 1972.

CASPARY, W. F. **Concepts of network and deformation analysis**. Kensington, N.S.W., Australia: School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, 1988.

CHEN, T.; FERGUSON, J.; AIKEN, C.; BRADY, J.; **Real-time data acquisition and quality control for gravity surveys**. The Leading Edge. Vol.24 Num.7 p.702-704; 2005.

CHEN, Y. Q.; CHRZANOWSKI, A.; SECORD, J. M. A strategy for the analysis of the stability of reference points in deformation surveys. **Cism Journal ACSGC**, v. 44, n. 2. September, 1990.

CHRZANOWSKI, A.; SZOSTAK-CHRZANOWSKI, A.; BOND, J.; WILKINS, R. Increasing public and environmental safety through Integrated monitoring and analysis of structural and ground deformations. **Geomatics Solutions for Disaster Management**. Berlin: Springer-Verlag, 2007.

CERYOVÁ, et al. Dynamic tests of robot stations. In: FIG INTERNATIONAL CONGRESS, 22., 2002, Washington. **Proceedings...** Washington: FIG, 2002.

CINTRA, J. P. **Automação da Topografia: do campo ao projeto**. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

COSSER, E. et al. Measuring the dynamic monitoring of bridges using a total station. In: FIG SYMPOSIUM ON DEFORMATION MEASUREMENTS, 11., 2003, Santorini . **Proceedings**... Santorini: FIG, 2003, não paginado.

CROSS, P. A.; NORRIS, J. C. The adjustment of length ratios. **Survey Review**, v. 23, n. 181. July, 1976.

DEUMLICH, F. **Survey instruments**. Berlin: Walter de Gruyter, 1982.

DIÓPTRA, S. L. **Instrumentación para la Topografía y su cálculo**. Lugo: Lucenses, 2000.

EROL, S.; EROL, B.; AYAN, T. **A general review of the deformation monitoring techniques and a case study**: analysing deformations using GPS/Levelling. [S.l: s.n]. [199?].

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. Porto Alegre, 1977.

GERALDO F.; DENNIS, A. **Comunicação de dados empresariais e redes**. 7. ed. São Paulo: LTC, 2005.

HENRIQUES, M. J.; CASACA, J. Uncertainty in tacheometric measurement of convergences in tunnels. In: FIG INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DEFORMATION MEASUREMENTS, 12., 2006, Baden. **Proceedings**...Baden: FIG, 2006.

HUDNUT, W. K.; BEHR, J. **Continuous GPS Monitoring of Structural Deformation at Pacoima Dam, California**. Seismological Research Letters, v. 69, n. 4, p. 299-308, jul/ago. 1998.

JORDAN, W. **Tratado general de Topografía**. Mexico: Gillis, 1981.

KAVOURAS, M. On detection of outliers and the determination of reliability in geodetic networks. **Technical report**, n. 87. New Brunswick: Departament Surveying Engineering, University of New Brunswick, 1982.

KOPÁCIK, A.; KYRINOVIC, P.; KADLECIKOVÁ, V. Laboratory tests of robot stations. In: FIG WORKING WEEK 2005 AND GSDI-8, 2005, Cairo. **Proceedings**... Cairo: FIG, 2005.

KRICKEL, B. Leistungskriterien zur qualitätskontrolle von robottachymetern. **Mitteilungen aus den Geodätischen Instituten der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn**, n. 92. Bonn, 2004.

LAROCCA, A.P. C. **O Uso do GPS como instrumento de controle de deslocamentos dinâmicos de obras civis**: aplicação na área de transportes. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

LUTES, J.; CHRZANOWKI, A.; BASTIN, G.; WHITAKER, C. **'Dimons' programa for automatic data collection and automatic deformation analysis**. The 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements. 2001.

MIKHAIL, E. M.; ACKERMANN, F. **Observations and Least Squares**. New York: [s.n], 1976.

MORAES, C. V. **Aplicação do ajustamento às poligonais**. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

NADAL, C. A. **Método de interseção óptica tridimensional aplicado à engenharia de precisão**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

RADOVANOVIC, R. S.; TESKEY, W. F. Dynamic Monitoring of Deforming Structures: GPS Versus Robotic Tacheometry Systems. In: FIG INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DEFORMATION MEASUREMENTS, 10., 2001, Orange. **Proceedings...** Orange: FIG, 2001.

ROBERTSON, K. D. The use of atmospheric models with trilateration. **Survey Review**, v. 24, n. 186. October, 1977.

SEIXAS, A.; BURITY, E. F. Geodésia aplicada à medição e ao monitoramento de áreas de risco em sítios industrializados. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS – CBCG, 4., Curitiba, 2005. **Anais...** Curitiba: CBCG, 2005. 1 CD-ROM.

VAN CRANENBROECK, J.; BROWN, N. Networking motorized total stations and GPS receivers for deformation measurements. In: FIG WORKING WEEK 2004, Athens. **Proceedings...** Athens: FIG, 2004.

VEIGA, L. A. K. **Sistema para mapeamento automatizado em campo:** conceitos, metodologia e implementação de um protótipo. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

WILKINS, R., BASTIN, G.; CHRZANOWSKI, A.; SMITH, P. A precise, reliable, and fully automatic real time monitoring system for steep embankments. In: CIM - CANADIAN INSTITUTE OF MINING ANNUAL CONFERENCE, 2002, Vancouver. **Proceedings...** Vancouver: CIM, 2002.

WOLF, P. R. **Adjustment computations:** practical least squares for surveyors. 2.ed. Wisconsin: PBL, 1980.

WOLF, P. R.; GHILANI, C. D. **Adjustment computations:** statistics and least squares in surveying and GIS. 3 ed. New York: Wiley-Interscience, 1997.

WOLF, P. R.; GHILANI, C. D. **Elementary surveying:** an introduction to Geomatics. New Jersey: Prentice-Hall, 2002.



## APÊNDICE A

**RELATÓRIOS**  
**MONITORAMENTO – 18/01/2011**

**ÉPOCA 1**

RECESSÃO

////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO RECESSÃO

////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3ÉPOCA: 1DATA: 18/01/2011

////////////////////////////////////

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

////////////////////////////////////

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

////////////////////////////////////

Ponto: 00000004  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

////////////////////////////////////

Ponto: 00000003  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

////////////////////////////////////

Ponto: 00000002  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

////////////////////////////////////

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

////////////////////////////////////

CADERNETA DE CAMPO

PONTO: 00000001 Série: 1

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

PD

PI

0°0'0"

180°0'0"

92°31'2"

267°29'8"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 92°30'57"

==> Distância: 1,866m

PONTO: 00000001 Série: 2

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

PD

PI

0°0'0"

180°0'0"

92°31'4"

267°29'10"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 92°30'57"

==> Distância: 1,866m

PONTO: 00000001 Série: 3

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

PD

PI

0°0'0"

180°0'0"

92°31'3"

267°29'10"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 92°30'57"

==> Distância: 1,866m

PONTO: 00000001

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)

DP

1,866

0,000

Direção Horizontal

DP

0°0'0"

0"

Ângulo Zenital

DP

92°30'57"

0"

PONTO: 00000004 Série: 1

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

PD

PI

163°3'14"

343°3'17"

79°43'30"

280°16'42"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 163°3'15"

==> Ângulo Zenital: 79°43'24"

==> Distância: 3,721m

PONTO: 00000004 Série: 2

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

PD

PI

163°3'15"

343°3'21"

79°43'31"

280°16'48"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 163°3'18"

==> Ângulo Zenital: 79°43'21"

==> Distância: 3,721m

-----  
PONTO: 00000004 Série: 3  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
163°3'20"	343°3'18"	79°43'30"	280°16'40"

Par Conjugado  
==> Direção Horizontal: 163°3'18"  
==> Ângulo Zenital: 79°43'25"  
==> Distância: 3,721m

-----  
PONTO: 00000004  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO	
Distância (m)	DP
3,721	0,000
Direção Horizontal	DP
163°3'17"	1,7"
Ângulo Zenital	DP
79°43'23"	2,1"

-----  
PONTO: 00000003 Série: 1  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
138°20'49"	318°20'54"	94°44'14"	265°15'58"

Par Conjugado  
==> Direção Horizontal: 138°20'51"  
==> Ângulo Zenital: 94°44'7"

==> Distância: 7,899m

-----  
PONTO: 00000003 Série: 2  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
138°20'53"	318°20'50"	94°44'12"	265°16'2"

Par Conjugado  
==> Direção Horizontal: 138°20'51"  
==> Ângulo Zenital: 94°44'4"  
==> Distância: 7,899m

-----  
PONTO: 00000003 Série: 3  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
138°20'55"	318°20'52"	94°44'13"	265°16'4"

Par Conjugado  
==> Direção Horizontal: 138°20'53"  
==> Ângulo Zenital: 94°44'4"  
==> Distância: 7,899m

-----  
PONTO: 00000003  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO	
Distância (m)	DP
7,899	0,000
Direção Horizontal	DP
138°20'52"	1,2"
Ângulo Zenital	DP
94°44'5"	1,7"

-----

-----  
PONTO: 00000002 Série: 1  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
110°53'58"	290°53'56"	90°24'55"	269°35'18"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 110°53'57"

==> Ângulo Zenital: 90°24'48"

==> Distância: 3,357m

-----  
PONTO: 00000002 Série: 2  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
110°53'57"	290°53'54"	90°24'54"	269°35'20"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 110°53'55"

==> Ângulo Zenital: 90°24'47"

==> Distância: 3,357m

-----  
PONTO: 00000002 Série: 3  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
110°53'55"	290°53'52"	90°24'55"	269°35'19"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 110°53'53"

==> Ângulo Zenital: 90°24'47"

==> Distância: 3,357m  
-----  
PONTO: 00000002  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
3,357	0,000

Direção Horizontal	DP
110°53'55"	2"

Ângulo Zenital	DP
90°24'47"	0,7"

-----  
PONTO: 00000001 Série: 1  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0'0"	180°0'0"	93°2'49"	266°57'22"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 93°2'43"

==> Distância: 1,84m

-----  
PONTO: 00000001 Série: 2  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0'0"	180°0'0"	93°2'45"	266°57'25"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 93°2'39"

==> Distância: 1,84m

PONTO: 00000001 Série: 3

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

PD

PI

0°0'0"

180°0'0"

93°2'47"

266°57'27"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 93°2'40"

==> Distância: 1,84m

PONTO: 00000001

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)

DP

1,84

0,000

Direção Horizontal

DP

0°0'0"

0"

Ângulo Zenital

DP

93°2'41"

2,1"

DISTÂNCIAS ENTRE ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estações de Controle

Distâncias (m)

00000001 00000004

5,445

00000001 00000003

9,325

00000001 00000002

4,364

00000004 00000003

4,797

00000004 00000002

3,097

00000003 00000002

5,132

COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estação de Controle

X (m)

Y (m)

1

100,000

100,000

4

101,067

94,660

3

105,232

92,281

2

103,136

96,965

RECESSÃO

Coordenadas da Estação Ocupada

X = 100,000m

Y = 98,163m

AJUSTAMENTO

Matriz das Derivadas Parciais (A)

-31,183

0

14,970

4,561

5,438

4,837

6,088

15,945

Matriz (N)

1263,115

191,664

191,664

298,449

Matriz (U)

-7,062E-12

-9,979E-12

Vetor dos Parâmetros (X)

DX (m)

-5,732E-16

DY (m)

-3,307E-14

Vetor dos Resíduos (X)

1,4365E-14  
3,955E-14  
-2,096E-14  
-4,953E-15

Sigma a Posteriori

1,117E-27

MVC Xa

9,801E-31      -6,294E-31  
-6,294E-31      4,148E-30

MVC La

9,530E-28    -3,680E-28    -7,127E-29    1,269E-28  
-3,680E-28    2,200E-28    1,101E-28    2,233E-28  
-7,127E-29    1,101E-28    9,293E-29    2,793E-28  
1,269E-28    2,233E-28    2,793E-28    9,687E-28

MVC dos Resíduos

-1,643E-28    -3,680E-28    -7,127E-29    1,269E-28  
-3,680E-28    -8,974E-28    1,101E-28    2,233E-28  
-7,127E-29    1,101E-28    -1,024E-27    2,793E-28  
1,269E-28    2,233E-28    2,793E-28    -1,486E-28

Coordenadas Ajustadas da Estação Ocupada

X = 100,000m      Y = 98,163m

TESTES ESTATÍSTICOS

Teste Global ou Qui-Quadrado

Hipótese H0 aceita a um nível de significância de 1%

Qui-Quadrado Calculado      Qui-Quadrado Tabelado

2,235E-27 < 10,6

Teste Data Snooping

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro  
Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Hipótese aceita se  $|W| < 3,29$

Resíduo Normalizado (W)      Hipótese H0

1,121      0  
1,320      0  
-0,655      0  
-0,406      0

Teste Tau

Estatística Tau Tabelada

1,377

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro  
Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Estatística Tau      Hipótese H0

1,121      0  
1,320      0  
-0,655      0  
-0,406      0



IRRADIAÇÃO

-----  
////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO IRRADIAÇÃO

-----  
////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 1      DATA: 18/01/2011

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

-----

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

-----

CADERNETA DE CAMPO

-----

PONTO: 00000001    Série: 1

-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
233°28'56"	53°28'50"	96°19'22"	263°40'50"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 233°28'52"

==> Ângulo Zenital: 96°19'16"

==> Distância: 3,186m

-----

PONTO: 00000001    Série: 2

```

-----
                Direção Horizontal                Ângulo Zenital
                PD                PI                PD                PI
233°28'53"      53°28'52"      96°19'23"      263°40'52"

Par Conjugado
==> Direção Horizontal: 233°28'52"
==> Ângulo Zenital: 96°19'15"
==> Distância: 3,186m

-----
PONTO: 00000001  Série: 3
-----

                Direção Horizontal                Ângulo Zenital
                PD                PI                PD                PI
233°28'50"      53°28'58"      96°19'23"      263°40'55"

Par Conjugado
==> Direção Horizontal: 233°28'53"
==> Ângulo Zenital: 96°19'13"
==> Distância: 3,186m

-----
PONTO: 00000001
-----

                MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)  DP  Direção Horizontal  DP  Ângulo Zenital  DP
3,186          0,000      233°28'53"      1"      96°19'15"      1,6"

-----
-----
                IRRADIAÇÃO
-----

Total de Pontos Irrradiados : 1

COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS

```

```

                Época                Ponto                X (m)                Y (m)
                1                00000001                000097,439                000096,267

VARIACÃO DE COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS - Valores de
Referência Época 1

                Época                Ponto                DX (m)                DY (m)

-----
                PROPAGAÇÃO DE ERROS
-----

MATRIZ VARIÂNCIA COVÂRIÂNCIA:

Ponto objeto: P1

Sx2 :0.0000058584m2
Sy2 :0.0000032228m2
Sxy  :0.0000043203m2

-----
                ELIPSE DE ERROS
-----

ELEMENTOS - Nivel de confiança de 95%

Ponto objeto: P1

Semi-eixo maior (a):0.007m
Semi-eixo menor (b):0.001m
Azimute da direção do semi-eixo maior:143°28'54"

```

**ÉPOCA 2**

**RECESSÃO**

////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO RECESSÃO

////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 2      DATA: 18/01/2011

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

-----

Ponto: 00000004  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

-----

Ponto: 00000003  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

-----

Ponto: 00000002  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

-----

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

-----

CADERNETA DE CAMPO

-----

PONTO: 00000004    Série: 1

-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
168°47'14"	348°47'18"	79°1'34"	280°58'39"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 168°47'16"

==> Ângulo Zenital: 79°1'27"

==> Distância: 3,65m

-----

PONTO: 00000004    Série: 2

-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
168°47'20"	348°47'15"	79°1'36"	280°58'40"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 168°47'17"

==> Ângulo Zenital: 79°1'27"

==> Distância: 3,65m

-----

PONTO: 00000004    Série: 3

-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
168°47'19"	348°47'26"	79°1'32"	280°58'36"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 168°47'22"

==> Ângulo Zenital: 79°1'27"

==> Distância: 3,65m

-----

PONTO: 00000004

-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
3,65	0,000
Direção Horizontal	DP
168°47'18"	3,2"
Ângulo Zenital	DP
79°1'27"	0"

PONTO: 00000003 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
142°48'3"	322°48'7"	94°34'46"	265°25'28"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 142°48'4"

==> Ângulo Zenital: 94°34'39"

==> Distância: 7,778m

PONTO: 00000003 Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
142°48'0"	322°48'5"	94°34'48"	265°25'25"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 142°48'2"

==> Ângulo Zenital: 94°34'41"

==> Distância: 7,778m

PONTO: 00000003 Série: 3

Direção Horizontal	Ângulo Zenital
--------------------	----------------

PD	PI	PD	PI
142°48'5"	322°48'10"	94°34'48"	265°25'30"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 142°48'7"

==> Ângulo Zenital: 94°34'39"

==> Distância: 7,778m

PONTO: 00000003

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
7,778	0,000
Direção Horizontal	DP
142°48'5"	2,3"
Ângulo Zenital	DP
94°34'39"	1,4"

PONTO: 00000002 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
114°55'37"	294°55'30"	89°52'47"	270°7'20"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 114°55'33"

==> Ângulo Zenital: 89°52'43"

==> Distância: 3,22m

PONTO: 00000002 Série: 2

Direção Horizontal	Ângulo Zenital
--------------------	----------------

PD	PI	PD	PI
114°55'39"	294°55'33"	89°52'49"	270°7'28"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 114°55'35"

==> Ângulo Zenital: 89°52'40"

==> Distância: 3,22m

-----  
PONTO: 00000002 Série: 3  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
114°55'33"	294°55'36"	89°52'49"	270°7'30"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 114°55'34"

==> Ângulo Zenital: 89°52'39"

==> Distância: 3,22m

-----  
PONTO: 00000002  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
3,22	0,000
Direção Horizontal	DP
114°55'34"	1"
Ângulo Zenital	DP
89°52'41"	1,7"

-----  
PONTO: 00000001 Série: 1  
-----

Direção Horizontal	Ângulo Zenital
--------------------	----------------

PD	PI	PD	PI
0°0'0"	180°0'0"	92°1'17"	267°58'58"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 92°1'9"

==> Distância: 1,888m

-----  
PONTO: 00000001 Série: 2  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0'0"	180°0'0"	92°1'17"	267°59'0"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 92°1'8"

==> Distância: 1,888m

-----  
PONTO: 00000001 Série: 3  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0'0"	180°0'0"	92°1'20"	267°59'3"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 92°1'8"

==> Distância: 1,888m

-----  
PONTO: 00000001  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
1,888	0,000
Direção Horizontal	DP
0°0'0"	0"
Ângulo Zenital	DP
92°1'8"	0,7"

### DISTÂNCIAS ENTRE ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estações de Controle	Distâncias (m)
00000001 00000004	5,446
00000001 00000003	9,326
00000001 00000002	4,365
00000004 00000003	4,796
00000004 00000002	3,098
00000003 00000002	5,133

### COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estação de Controle	X (m)	Y (m)
1	100,000	100,000
4	101,067	94,660
3	105,232	92,281
2	103,136	96,965

### RECESSÃO

### Coordenadas da Estação Ocupada

X = 100,130m      Y = 98,119m

### AJUSTAMENTO

Matriz das Derivadas Parciais (A)

-30,320	-2,093
15,431	4,181
5,564	4,862
6,377	16,611

### Matriz (N)

1229,045	260,976
260,976	321,428

### Matriz (U)

-0,163
-0,424

### Vetor dos Parâmetros (X)

DX (m)	DY (m)
0,000	-0,001

### Vetor dos Resíduos (X)

-0,002
-0,003
-0,006
0,002

### Sigma a Posteriori

2,993E-5

### MVC Xa

2,942E-8	-2,389E-8
-2,389E-8	1,125E-7

### MVC La

2,451E-5	-1,095E-5	-2,309E-6	2,750E-6
-1,095E-5	5,891E-6	2,465E-6	3,949E-6

-2,309E-6	2,465E-6	2,278E-6	7,182E-6
2,750E-6	3,949E-6	7,182E-6	2,718E-5

MVC dos Resíduos

-5,419E-6	-1,095E-5	-2,309E-6	2,750E-6
-1,095E-5	-2,404E-5	2,465E-6	3,949E-6
-2,309E-6	2,465E-6	-2,765E-5	7,182E-6
2,750E-6	3,949E-6	7,182E-6	-2,750E-6

Coordenadas Ajustadas da Estação Ocupada

X = 100,130m                      Y = 98,118m

# TESTES ESTATÍSTICOS

Teste Global ou Qui-Quadrado

Hipótese H0 aceita a um nível de significância de 1%

Qui-Quadrado Calculado              Qui-Quadrado Tabelado

5,986E-5 < 10,6

Teste Data Snooping

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Hipótese aceita se |W| < 3,29

Resíduo Normalizado (W)              Hipótese H0

-1,007	0
-0,687	0
-1,165	0
1,314	0

Teste Tau

Estatística Tau Tabelada

1,377

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Estatística Tau                      Hipótese H0

-1,007	0
-0,687	0
-1,165	0
1,314	0



IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 2      DATA: 18/01/2011

////////////////////////////////////

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

////////////////////////////////////

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

////////////////////////////////////

CADERNETA DE CAMPO

////////////////////////////////////

PONTO: 00000001    Série: 1

////////////////////////////////////

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD                      PI

PD                      PI

239°25´42"              59°25´34"

95°37´14"              264°22´59"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 239°25´37"

==> Ângulo Zenital: 95°37´7"

==> Distância: 3,264m

////////////////////////////////////

PONTO: 00000001    Série: 2

```

-----
Direção Horizontal      Ângulo Zenital
PD      PI      PD      PI
239°25'42"      59°25'34"      95°37'14"      264°22'59"

Par Conjugado
==> Direção Horizontal: 239°25'37"
==> Ângulo Zenital: 95°37'7"
==> Distância: 3,264m

-----
PONTO: 00000001 Série: 3
-----

Direção Horizontal      Ângulo Zenital
PD      PI      PD      PI
239°25'40"      59°25'38"      95°37'13"      264°22'56"

Par Conjugado
==> Direção Horizontal: 239°25'39"
==> Ângulo Zenital: 95°37'8"
==> Distância: 3,264m

-----
PONTO: 00000001
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO
Distância (m)  DP  Direção Horizontal  DP  Ângulo Zenital  DP
3,264      0,000      239°25'38"      1,2"      95°37'7"      0,7"

-----
-----
IRRADIAÇÃO
-----

Total de Pontos Irrradiados : 1

COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS

```

```

Época      Ponto      X (m)      Y (m)
2      00000001      000097,441      000096,268

VARIAÇÃO DE COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS - Valores de
Referência Época 1

Época      Ponto      DX (m)      DY (m)
2      00000001      -0,001      -0,001

-----
PROPAGAÇÃO DE ERROS
-----

MATRIZ VARIÂNCIA COVÂRIÂNCIA:

Sx2 :0.0000061571m2
Sy2 :0.0000029268m2
Sxy :0.0000042183m2

-----
ELIPSE DE ERROS
-----

ELEMENTOS - Nível de confiança de 95%

Ponto objeto: P1

Semi-eixo maior (a):0.007m
Semi-eixo menor (b):0.001m
Azimute da direção do semi-eixo maior:145°28'32,6"

```

**ÉPOCA 3**

**RECESSÃO**

=====

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO RECESSÃO

=====

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 3      DATA: 18/01/2011

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

Ponto: 00000004  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000003  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000002  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

CADERNETA DE CAMPO

-----  
PONTO: 00000004    Série: 1  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
172°52'48"	352°52'40"	79°45'58"	280°14'15"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 172°52'44"

==> Ângulo Zenital: 79°45'51"

==> Distância: 3,65m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 2  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
172°52'48"	352°52'43"	79°45'55"	280°14'18"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 172°52'45"

==> Ângulo Zenital: 79°45'48"

==> Distância: 3,65m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 3  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
172°52'46"	352°52'48"	79°45'56"	280°14'16"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 172°52'46"

==> Ângulo Zenital: 79°45'50"

==> Distância: 3,65m

-----  
PONTO: 00000004  
-----

## MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
3,65	0,000
Direção Horizontal	DP
172°52'45"	1"
Ângulo Zenital	DP
79°45'50"	1,6"

PONTO: 00000003 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
146°4'48"	326°4'42"	94°56'50"	265°3'25"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 146°4'45"

==> Ângulo Zenital: 94°56'42"

==> Distância: 7,745m

PONTO: 00000003 Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
146°4'45"	326°4'39"	94°56'55"	265°3'20"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 146°4'42"

==> Ângulo Zenital: 94°56'47"

==> Distância: 7,745m

PONTO: 00000003 Série: 3

## Direção Horizontal

## Ângulo Zenital

PD	PI	PD	PI
146°4'41"	326°4'44"	94°56'57"	265°3'17"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 146°4'42"

==> Ângulo Zenital: 94°56'50"

==> Distância: 7,745m

PONTO: 00000003

## MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
7,745	0,000
Direção Horizontal	DP
146°4'43"	1,7"
Ângulo Zenital	DP
94°56'46"	4"

PONTO: 00000002 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
118°34'11"	298°34'20"	90°44'46"	269°15'30"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 118°34'15"

==> Ângulo Zenital: 90°44'38"

==> Distância: 3,151m

PONTO: 00000002 Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
118°34'8"	298°34'12"	90°44'40"	269°15'33"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 118°34'9"

==> Ângulo Zenital: 90°44'33"

==> Distância: 3,151m

PONTO: 00000002 Série: 3

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
118°34'14"	298°34'16"	90°44'41"	269°15'28"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 118°34'15"

==> Ângulo Zenital: 90°44'36"

==> Distância: 3,151m

PONTO: 00000002

#### MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
3,151	0,000
Direção Horizontal	DP
118°34'13"	3,2"
Ângulo Zenital	DP
90°44'36"	2,7"

PONTO: 00000001 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0'0"	180°0'0"	93°29'8"	266°31'9"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 93°28'59"

==> Distância: 1,883m

PONTO: 00000001 Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0'0"	180°0'0"	93°29'5"	266°31'10"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 93°28'57"

==> Distância: 1,883m

PONTO: 00000001 Série: 3

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0'0"	180°0'0"	93°29'9"	266°31'7"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 0°0'0"

==> Ângulo Zenital: 93°29'1"

==> Distância: 1,883m

PONTO: 00000001

## MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
1,883	0,000
Direção Horizontal	DP
0°0'0"	0"
Ângulo Zenital	DP
93°28'59"	2"

## DISTÂNCIAS ENTRE ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estações de Controle		Distâncias (m)
00000001	00000004	5,445
00000001	00000003	9,325
00000001	00000002	4,365
00000004	00000003	4,797
00000004	00000002	3,098
00000003	00000002	5,132

## COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estação de Controle	X (m)	Y (m)
1	100,000	100,000
4	101,067	94,660
3	105,232	92,281
2	103,136	96,965

## RECESSÃO

## Coordenadas da Estação Ocupada

X = 100,215m      Y = 98,148m

## AJUSTAMENTO

## Matriz das Derivadas Parciais (A)

-30,521	-3,539
15,503	3,789
5,641	4,824
6,821	16,852

## Matriz (N)

1250,222	308,911
308,911	334,135

## Matriz (U)

-0,549
-1,356

## Vetor dos Parâmetros (X)

DX (m)	DY (m)
0,0007	-0,005

## Vetor dos Resíduos (X)

-0,005
-0,007
-0,019
0,006

## Sigma a Posteriori

0,0002

## MVC Xa

2,369E-7	-2,190E-7
-2,190E-7	8,864E-7

MVC La			
0,000	-8,664E-5	-1,930E-5	1,575E-5
-8,664E-5	4,393E-5	1,586E-5	1,877E-5
-1,930E-5	1,586E-5	1,624E-5	5,314E-5
1,575E-5	1,877E-5	5,314E-5	0,000

MVC dos Resíduos			
-4,405E-5	-8,664E-5	-1,930E-5	1,575E-5
-8,664E-5	-0,000	1,586E-5	1,877E-5
-1,930E-5	1,586E-5	-0,000	5,314E-5
1,575E-5	1,877E-5	5,314E-5	-1,613E-5

Coordenadas Ajustadas da Estação Ocupada

X = 100,215m      Y = 98,143m

#### TESTES ESTATÍSTICOS

##### Teste Global ou Qui-Quadrado

Hipótese H0 aceita a um nível de significância de 1%

Qui-Quadrado Calculado      Qui-Quadrado Tabelado

0,0005 < 10,6

##### Teste Data Snooping

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Hipótese aceita se  $|W| < 3,29$

Resíduo Normalizado (W)	Hipótese H0
-0,836	0
-0,487	0
-1,285	0
1,314	0

##### Teste Tau

Estatística Tau Tabelada

1,377

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Estatística Tau	Hipótese H0
-0,836	0
-0,487	0
-1,285	0
1,314	0



IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3ÉPOCA: 3DATA: 18/01/2011

////////////////////////////////////

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

////////////////////////////////////

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

////////////////////////////////////

CADERNETA DE CAMPO

////////////////////////////////////

PONTO: 00000001Série: 1

////////////////////////////////////

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PDPI

PDPI

242°33'20"

62°33'30"

96°17'0"

263°43'18"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 242°33'24"

==> Ângulo Zenital: 96°16'50"

==> Distância: 3,349m

////////////////////////////////////

PONTO: 00000001Série: 2

-----					
Direção Horizontal			Ângulo Zenital		
PD	PI		PD	PI	
242°33'26"	62°33'30"		96°17'3"	263°43'10"	
Par Conjugado					
==> Direção Horizontal: 242°33'27"					
==> Ângulo Zenital: 96°16'56"					
==> Distância: 3,349m					
-----					
PONTO: 00000001 Série: 3					
-----					
Direção Horizontal			Ângulo Zenital		
PD	PI		PD	PI	
242°33'31"	62°33'30"		96°17'0"	263°43'12"	
Par Conjugado					
==> Direção Horizontal: 242°33'30"					
==> Ângulo Zenital: 96°16'53"					
==> Distância: 3,349m					
-----					
PONTO: 00000001					
-----					
MÉDIA E DESVIO-PADRÃO					
Distância (m)	DP	Direção Horizontal	DP	Ângulo Zenital	DP
3,349	0,000	242°33'27"	3"	96°16'53"	3"
-----					
-----					
IRRADIAÇÃO					
-----					

Total de Pontos Irrradiados : 1

COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS

Época	Ponto	X (m)	Y (m)
3	00000001	000097,441	000096,267
VARIAÇÃO DE COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS - Valores de Referência Época 1			
Época	Ponto	DX (m)	DY (m)
2	00000001	-0,001	-0,001
3	00000001	-0,001	-0,001

-----			
PROPAGAÇÃO DE ERROS			
-----			

MATRIZ VARIÂNCIA COVÂRIANCIA:

Ponto objeto: P1

$Sx^2$  :0.0000062261m2  
 $Sy^2$  :0.0000028607m2  
 $Sxy$  :0.0000041919m2

-----			
ELIPSE DE ERROS			
-----			

ELEMENTOS - Nível de confiança de 95%

Ponto objeto: P1

Semi-eixo maior (a):0.007m  
Semi-eixo menor (b):0.001m  
Azimute da direção do semi-eixo maior:145°56'08,2"

**ÉPOCA 4**

**RECESSÃO**

=====

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO RECESSÃO

=====

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 4      DATA: 18/01/2011

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

-----

Ponto: 00000004

Série 1: OK

Série 2: OK

Série 3: OK

-----

Ponto: 00000003

Série 1: OK

Série 2: OK

Série 3: OK

-----

Ponto: 00000002

Série 1: OK

Série 2: OK

Série 3: OK

-----

Ponto: 00000001

Série 1: OK

Série 2: OK

Série 3: OK

-----

CADERNETA DE CAMPO

-----

PONTO: 00000004    Série: 1

-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
161°15'57"	341°16'6"	80°5'38"	279°54'33"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 161°16'1"

==> Ângulo Zenital: 80°5'32"

==> Distância: 3,8m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 2

-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
161°15'54"	341°16'0"	80°5'39"	279°54'34"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 161°15'56"

==> Ângulo Zenital: 80°5'32"

==> Distância: 3,8m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 3

-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
161°15'57"	341°16'1"	80°5'41"	279°54'30"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 161°15'59"

==> Ângulo Zenital: 80°5'35"

==> Distância: 3,8m

-----  
PONTO: 00000004

-----

## MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
3,8	0,000
Direção Horizontal	DP
161°15'59"	3,3"
Ângulo Zenital	DP
80°5'33"	1,7"

PONTO: 00000003 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
136°58'43"	316°58'50"	94°47'32"	265°12'37"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 136°58'46"

==> Ângulo Zenital: 94°47'27"

==> Distância: 7,967m

PONTO: 00000003 Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
136°58'40"	316°58'48"	94°47'30"	265°12'39"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 136°58'44"

==> Ângulo Zenital: 94°47'25"

==> Distância: 7,967m

PONTO: 00000003 Série: 3

## Direção Horizontal

## Ângulo Zenital

PD	PI	PD	PI
136°58'46"	316°58'49"	94°47'28"	265°12'40"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 136°58'47"

==> Ângulo Zenital: 94°47'24"

==> Distância: 7,967m

PONTO: 00000003

## MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
7,967	0,000
Direção Horizontal	DP
136°58'46"	1,6"
Ângulo Zenital	DP
94°47'25"	1,6"

PONTO: 00000002 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
110°1'56"	290°1'50"	90°38'41"	269°21'31"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 110°1'53"

==> Ângulo Zenital: 90°38'35"

==> Distância: 3,416m

PONTO: 00000002 Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
110°1´58"	290°1´55"	90°38´40"	269°21´33"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 110°1´56"			
==> Ângulo Zenital: 90°38´33"			
==> Distância: 3,416m			
-----			
PONTO: 00000002    Série: 3			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
110°1´56"	290°1´54"	90°38´37"	269°21´38"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 110°1´55"			
==> Ângulo Zenital: 90°38´29"			
==> Distância: 3,416m			
-----			
PONTO: 00000002			
-----			
MÉDIA E DESVIO-PADRÃO			
Distância (m)		DP	
3,416		0,000	
Direção Horizontal		DP	
110°1´54"		1,7"	
Ângulo Zenital		DP	
90°38´32"		3,1"	
-----			
-----			

PONTO: 00000001 Série: 1			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0´0"	180°0´0"	93°33´39"	266°26´36"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 0°0´0"			
==> Ângulo Zenital: 93°33´31"			
==> Distância: 1,789m			
-----			
PONTO: 00000001 Série: 2			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0´0"	180°0´0"	93°33´36"	266°26´39"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 0°0´0"			
==> Ângulo Zenital: 93°33´28"			
==> Distância: 1,789m			
-----			
PONTO: 00000001 Série: 3			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0´0"	180°0´0"	93°33´34"	266°26´34"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 0°0´0"			
==> Ângulo Zenital: 93°33´29"			
==> Distância: 1,789m			
-----			
PONTO: 00000001			
-----			

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO	
Distância (m)	DP
1,789	0,000
Direção Horizontal	DP
0°0'0"	0"
Ângulo Zenital	DP
93°33'30"	1,7"

DISTÂNCIAS ENTRE ESTAÇÕES DE CONTROLE		
Estações de Controle		Distâncias (m)
00000001	00000004	5,446
00000001	00000003	9,326
00000001	00000002	4,364
00000004	00000003	4,797
00000004	00000002	3,098
00000003	00000002	5,132

COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE		
Estação de Controle	X (m)	Y (m)
1	100,000	100,000
4	101,067	94,660
3	105,232	92,281
2	103,136	96,965

RECESSÃO	
Coordenadas da Estação Ocupada	
X = 99,957m	Y = 98,216m

AJUSTAMENTO

Matriz das Derivadas Parciais (A)	
-32,091	0,778
14,683	4,586
5,393	4,794
6,139	15,607
Matriz (N)	
1312,186	164,011
164,011	288,187
Matriz (U)	
-0,303	
-0,771	
Vetor dos Parâmetros (X)	
DX (m)	DY (m)
0,0001	-0,003
Vetor dos Resíduos (X)	
-0,006	
-0,011	
-0,013	
0,007	
Sigma a Posteriori	
0,0002	
MVC Xa	
1,488E-7	-8,467E-8
-8,467E-8	6,774E-7

```

-----
MVC La
-----
0,000      -5,619E-5  -1,055E-5  2,092E-5
-5,619E-5  3,492E-5  1,862E-5  4,010E-5
-1,055E-5  1,862E-5  1,551E-5  4,599E-5
2,092E-5  4,010E-5  4,598E-5  0,000

```

```

-----
MVC dos Resíduos
-----
-2,348E-5  -5,619E-5  -1,055E-5  2,092E-5
-5,619E-5  -0,000    1,862E-5  4,010E-5
-1,055E-5  1,8625E-5  0,000    4,599E-5
2,092E-5  4,010E-5  4,599E-5  -2,695E-5

```

```

-----
Coordenadas Ajustadas da Estação Ocupada
-----

X = 99,957m      Y = 98,213m

```

#### TESTES ESTATÍSTICOS

```

-----
Teste Global ou Qui-Quadrado
-----

```

Hipótese H0 aceita a um nível de significância de 1%

Qui-Quadrado Calculado      Qui-Quadrado Tabelado

0,0004 < 10,6

```

-----
Teste Data Snooping
-----

```

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Hipótese aceita se  $|W| < 3,29$

Resíduo Normalizado (W)	Hipótese H0
-1,176	0
-0,903	0
-0,973	0
1,314	0

```

-----
Teste Tau
-----

```

Estatística Tau Tabelada

1,377

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Estatística Tau	Hipótese H0
-1,176	0
-0,903	0
-0,973	0
1,314	0



IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)  
  
RELATÓRIO IRRADIAÇÃO  
  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO  
  
OPERADOR: FABIANI  
  
INSTRUMENTO: TC 403L  
  
NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 4      DATA: 18/01/2011

-----  
  
VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS  
  
-----  
  
Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK  
  
-----

CADERNETA DE CAMPO  
  
-----  
  
PONTO: 00000001    Série: 1  
  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
230°52´47"	50°52´40"	96°34´4"	263°26´8"

Par Conjugado  
  
==> Direção Horizontal: 230°52´43"  
  
==> Ângulo Zenital: 96°33´58"  
  
==> Distância: 3,185m

-----  
  
PONTO: 00000001    Série: 2

```

-----
Direção Horizontal      Ângulo Zenital
PD      PI      PD      PI
230°52'45"      50°52'42"      96°34'0"      263°26'10"

Par Conjugado
==> Direção Horizontal: 230°52'43"
==> Ângulo Zenital: 96°33'54"
==> Distância: 3,185m

-----
PONTO: 00000001 Série: 3
-----

Direção Horizontal      Ângulo Zenital
PD      PI      PD      PI
230°52'48"      50°52'43"      96°34'2"      263°26'9"

Par Conjugado
==> Direção Horizontal: 230°52'45"
==> Ângulo Zenital: 96°33'56"
==> Distância: 3,185m

-----
PONTO: 00000001
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO
Distância (m)  DP  Direção Horizontal  DP  Ângulo Zenital  DP
3,185      0,000      230°52'44"      1,2"      96°33'56"      2"

-----
-----
IRRADIAÇÃO
-----

Total de Pontos Irradiados : 1

COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS

```

```

Época      Ponto      X (m)      Y (m)
4      00000001      000097,438      000096,263

VARIAÇÃO DE COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS - Valores de
Referência Época 1

Época      Ponto      DX (m)      DY (m)
2      00000001      -0,001      -0,001
3      00000001      -0,001      -0,001
4      00000001      0,002      0,003

-----
PROPAGAÇÃO DE ERROS
-----

MATRIZ VARIÂNCIA COVÂRIÂNCIA:

Ponto objeto: P1

Sx2 :0.0000056727m2
Sy2 :0.0000034086m2
Sxy :0.0000043726m2

-----
ELIPSE DE ERROS
-----

ELEMENTOS - Nível de confiança de 95%

Ponto objeto: P1

Semi-eixo maior (a):0.007m
Semi-eixo menor (b):0.001m
Azimute da direção do semi-eixo maior:142°15'26,3"

```

**ÉPOCA 5**

**RECESSÃO**

=====

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO RECESSÃO

=====

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 5      DATA: 18/01/2011

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

-----

Ponto: 00000004

Série 1: OK

Série 2: OK

Série 3: OK

-----

Ponto: 00000003

Série 1: OK

Série 2: OK

Série 3: OK

-----

Ponto: 00000002

Série 1: OK

Série 2: OK

Série 3: OK

-----

Ponto: 00000001

Série 1: OK

Série 2: OK

Série 3: OK

-----

CADERNETA DE CAMPO

-----

PONTO: 00000004    Série: 1

-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
164°51'33"	344°51'27"	79°23'2"	280°37'5"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 164°51'29"

==> Ângulo Zenital: 79°22'58"

==> Distância: 3,689m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
164°51'30"	344°51'30"	79°23'5"	280°37'0"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 164°51'29"

==> Ângulo Zenital: 79°23'2"

==> Distância: 3,689m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 3

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
164°51'34"	344°51'31"	79°23'5"	280°37'0"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 164°51'32"

==> Ângulo Zenital: 79°23'2"

==> Distância: 3,689m

-----  
PONTO: 00000004

-----

## MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
3,689	0,000
Direção Horizontal	DP
164°51'30"	1,7"
Ângulo Zenital	DP
79°23'1"	2,3"

PONTO: 00000003 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
139°44'28"	319°44'32"	94°39'4"	265°21'5"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 139°44'30"

==> Ângulo Zenital: 94°38'59"

==> Distância: 7,851m

PONTO: 00000003 Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
139°44'25"	319°44'27"	94°39'8"	265°21'8"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 139°44'26"

==> Ângulo Zenital: 94°39'0"

==> Distância: 7,851m

PONTO: 00000003 Série: 3

## Direção Horizontal

## Ângulo Zenital

PD	PI	PD	PI
139°44'30"	319°44'27"	94°39'3"	265°21'10"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 139°44'28"

==> Ângulo Zenital: 94°38'56"

==> Distância: 7,851m

PONTO: 00000003

## MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
7,851	0,000
Direção Horizontal	DP
139°44'28"	2"
Ângulo Zenital	DP
94°38'58"	2,1"

PONTO: 00000002 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
112°0'8"	291°59'58"	90°9'31"	269°50'40"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 112°0'3"

==> Ângulo Zenital: 90°9'25"

==> Distância: 3,31m

PONTO: 00000002 Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
112°0´3"	291°59´54"	90°9´30"	269°50´45"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 111°59´58"			
==> Ângulo Zenital: 90°9´22"			
==> Distância: 3,31m			
-----			
PONTO: 00000002    Série: 3			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
112°0´6"	292°0´3"	90°9´33"	269°50´48"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 112°0´4"			
==> Ângulo Zenital: 90°9´22"			
==> Distância: 3,31m			
-----			
PONTO: 00000002			
-----			
MÉDIA E DESVIO-PADRÃO			
Distância (m)		DP	
3,31		0,000	
Direção Horizontal		DP	
112°0´1"		3,3"	
Ângulo Zenital		DP	
90°9´23"		1,7"	
-----			
-----			

PONTO: 00000001 Série: 1			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0´0"	180°0´0"	92°31´2"	267°29´8"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 0°0´0"			
==> Ângulo Zenital: 92°30´57"			
==> Distância: 1,866m			
-----			
PONTO: 00000001 Série: 2			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0´0"	180°0´0"	92°31´4"	267°29´10"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 0°0´0"			
==> Ângulo Zenital: 92°30´57"			
==> Distância: 1,866m			
-----			
PONTO: 00000001 Série: 3			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0´0"	180°0´0"	92°31´3"	267°29´10"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 0°0´0"			
==> Ângulo Zenital: 92°30´56"			
==> Distância: 1,866m			
-----			
PONTO: 00000001			
-----			

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO		
Distância (m)	DP	
1,866	0,000	
Direção Horizontal	DP	
0°0'0"	0"	
Ângulo Zenital	DP	
92°30'56"	1"	

---

DISTÂNCIAS ENTRE ESTAÇÕES DE CONTROLE		
Estações de Controle	Distâncias (m)	
00000001 00000004	5,446	
00000001 00000003	9,325	
00000001 00000002	4,365	
00000004 00000003	4,797	
00000004 00000002	3,097	
00000003 00000002	5,132	

---

COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE		
Estação de Controle	X (m)	Y (m)
1	100,000	100,000
4	101,067	94,660
3	105,232	92,281
2	103,136	96,965

---

RECESSÃO		
Coordenadas da Estação Ocupada		
X = 100,042m	Y = 98,137m	

---

AJUSTAMENTO		
-------------	--	--

Matriz das Derivadas Parciais (A)	
-30,745	-0,691
15,160	4,470
5,480	4,856
6,135	16,193
Matriz (N)	
1242,735	214,953
214,953	306,252
Matriz (U)	
-0,218	
-0,575	
Vetor dos Parâmetros (X)	
DX (m)	DY (m)
0,0002	-0,002
Vetor dos Resíduos (X)	
-0,004	
-0,006	
-0,009	
0,004	
Sigma a Posteriori	
7,485E-5	
MVC Xa	
6,855E-8	-4,811E-8
-4,811E-8	2,782E-7
MVC La	

```

-----
6,289E-5  -2,569E-5  -5,117E-6  8,117E-6
-2,569E-5  1,479E-5  7,012E-6  1,338E-5
-5,117E-6  7,0125E-6  6,057E-6  1,847E-5
8,117E-6  1,338E-5  1,847E-5  6,596E-5
-----

```

```

-----
MVC dos Resíduos
-----
-1,1962E-5  -2,569E-5  -5,117E-6  8,117E-6
-2,569E-5  -6,006E-5  7,012E-6  1,338E-5
-5,117E-6  7,012E-6  -6,879E-5  1,847E-5
8,117E-6  1,338E-5  1,847E-5  -8,886E-6
-----

```

```

-----
Coordenadas Ajustadas da Estação Ocupada
-----

X = 100,042m      Y = 98,135m

```

#### TESTES ESTATÍSTICOS

```

-----
Teste Global ou Qui-Quadrado
-----

```

Hipótese H0 aceita a um nível de significância de 1%

Qui-Quadrado Calculado      Qui-Quadrado Tabelado

0,0001 < 10,6

```

-----
Teste Data Snooping
-----

```

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Hipótese aceita se  $|W| < 3,29$

Resíduo Normalizado (W)	Hipótese H0
-1,113	0
-0,819	0
-1,057	0
1,314	0

```

-----
Teste Tau
-----

```

Estatística Tau Tabelada

1,377

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Estatística Tau	Hipótese H0
-1,113	0
-0,819	0
-1,057	0
1,314	0



## IRRADIAÇÃO

=====

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO IRRADIAÇÃO

=====

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 5      DATA: 18/01/2011

=====

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

=====

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

=====

CADERNETA DE CAMPO

=====

PONTO: 00000001    Série: 1

=====

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
235°35'5"	55°35'0"	96°0'8"	264°0'8"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 235°35'2"

==> Ângulo Zenital: 96°0'0"

==> Distância: 3,207m

=====

PONTO: 00000001    Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital			
PD	PI	PD	PI		
235°35´6"	55°35´3"	96°0´9"	264°0´4"		
Par Conjugado					
==> Direção Horizontal: 235°35´4"					
==> Ângulo Zenital: 96°0´2"					
==> Distância: 3,207m					
-----					
PONTO: 00000001    Série: 3					
-----					
Direção Horizontal		Ângulo Zenital			
PD	PI	PD	PI		
235°35´8"	55°35´6"	96°0´6"	264°0´10"		
Par Conjugado					
==> Direção Horizontal: 235°35´6"					
==> Ângulo Zenital: 95°59´57"					
==> Distância: 3,207m					
-----					
PONTO: 00000001					
-----					
MÉDIA E DESVIO-PADRÃO					
Distância (m)	DP	Direção Horizontal	DP	Ângulo Zenital	DP
3,207	0,000	235°35´4"	2"	96°0´0"	2,5"
-----					
-----					
IRRADIAÇÃO					

Total de Pontos Irrradiados : 1

COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS

Época	Ponto	X (m)	Y (m)
5	00000001	000097,438	000096,264
VARIAÇÃO DE COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS - Valores de Referência Época 1			
Época	Ponto	DX (m)	DY (m)
2	00000001	-0,001	-0,001
3	00000001	-0,001	-0,001
4	00000001	0,001	0,001
5	00000001	0,002	0,003

-----			
PROPAGAÇÃO DE ERROS			
-----			

MATRIZ VARIÂNCIA COVÂRIÂNCIA:

Ponto objeto: P1

Sx<sup>2</sup> :0.0000059808m2  
 Sy<sup>2</sup> :0.0000031012m2  
 Sxy :0.0000042812m2

-----			
ELIPSE DE ERROS			
-----			

ELEMENTOS - Nivel de confiança de 95%

Ponto objeto: P1

Semi-eixo maior (a):0.007m  
 Semi-eixo menor (b):0.001m  
 Azimute da direção do semi-eixo maior:144°17'39,6"

## **APÊNDICE B**

**RELATÓRIOS**

**MONITORAMENTO – 26/09/2011**

**ÉPOCA 1**

**RECESSÃO**

////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO RECESSÃO

////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3 ÉPOCA: 1 DATA: 26/09/2011

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

Ponto: 00000004  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000003  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000002  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

CADERNETA DE CAMPO

PONTO: 00000004 Série: 1

-----

Direção Horizontal

PD

PI

77°25'57"

257°25'53"

Ângulo Zenital

PD

PI

92°56'9"

267°4'26"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 77°25'54"

==> Ângulo Zenital: 92°55'51"

==> Distância: 5,588m

-----

PONTO: 00000004 Série: 2

-----

Direção Horizontal

PD

PI

77°25'54"

257°25'50"

Ângulo Zenital

PD

PI

92°56'11"

267°4'29"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 77°25'52"

==> Ângulo Zenital: 92°55'50"

==> Distância: 5,588m

-----

PONTO: 00000004 Série: 3

-----

Direção Horizontal

PD

PI

77°25'58"

257°25'51"

Ângulo Zenital

PD

PI

92°56'8"

267°4'27"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 77°25'54"

==> Ângulo Zenital: 92°55'50"

==> Distância: 5,588m

-----

PONTO: 00000004

-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO	
Distância (m)	DP
5,588	0,000
Direção Horizontal	DP
77°25'53"	1,2"
Ângulo Zenital	DP
92°55'50"	0,7"

-----  
PONTO: 00000003 Série: 1  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
63°37'21"	243°37'15"	89°42'54"	270°17'43"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 63°37'18"			
==> Ângulo Zenital: 89°42'35"			
==> Distância: 7,298m			

-----  
PONTO: 00000003 Série: 2  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
63°37'18"	243°37'14"	89°42'51"	270°17'40"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 63°37'16"			
==> Ângulo Zenital: 89°42'35"			
==> Distância: 7,298m			

-----  
PONTO: 00000003 Série: 3  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
63°37'22"	243°37'17"	89°42'50"	270°17'41"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 63°37'19"			
==> Ângulo Zenital: 89°42'34"			
==> Distância: 7,298m			

-----  
PONTO: 00000003  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO	
Distância (m)	DP
7,298	0,000
Direção Horizontal	DP
63°37'17"	1,7"
Ângulo Zenital	DP
89°42'35"	0,7"

-----  
PONTO: 00000002 Série: 1  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
32°10'23"	212°10'25"	89°26'30"	270°34'10"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 32°10'23"			
==> Ângulo Zenital: 89°26'10"			
==> Distância: 5,358m			

-----  
PONTO: 00000002 Série: 2  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
32°10'27"	212°10'23"	89°26'25"	270°34'8"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 32°10'24"			
==> Ângulo Zenital: 89°26'8"			
==> Distância: 5,358m			
-----			
PONTO: 00000002 Série: 3			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
32°10'25"	212°10'23"	89°26'27"	270°34'7"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 32°10'23"			
==> Ângulo Zenital: 89°26'10"			
==> Distância: 5,358m			
-----			
PONTO: 00000002			
-----			
MÉDIA E DESVIO-PADRÃO			
Distância (m)		DP	
5,358		0,000	
Direção Horizontal		DP	
32°10'24"		1"	
Ângulo Zenital		DP	
89°26'9"		1,7"	
-----			
-----			
PONTO: 00000001 Série: 1			
-----			

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0'0"	180°0'0"	88°54'59"	271°5'34"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 0°0'0"			
==> Ângulo Zenital: 88°54'42"			
==> Distância: 4,091m			
-----			
PONTO: 00000001 Série: 2			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0'0"	180°0'0"	88°55'3"	271°5'30"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 0°0'0"			
==> Ângulo Zenital: 88°54'46"			
==> Distância: 4,091m			
-----			
PONTO: 00000001 Série: 3			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
0°0'0"	180°0'0"	88°55'5"	271°5'31"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 0°0'0"			
==> Ângulo Zenital: 88°54'47"			
==> Distância: 4,091m			
-----			
PONTO: 00000001			
-----			



## MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
4,091	0,000
Direção Horizontal	DP
0°0'0"	0"
Ângulo Zenital	DP
88°54'45"	2,6"

## DISTÂNCIAS ENTRE ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estações de Controle	Distâncias (m)
00000001 00000004	6,159
00000001 00000003	6,593
00000001 00000002	2,887
00000004 00000003	2,303
00000004 00000002	4,213
00000003 00000002	3,905

## COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estação de Controle	X (m)	Y (m)
1	100,000	100,000
4	105,447	97,124
3	106,538	99,152
2	102,853	100,444

## RECESSÃO

## Coordenadas da Estação Ocupada

X = 100m      Y = 95,910m

## AJUSTAMENTO

## Matriz das Derivadas Parciais (A)

-14,008	0
-2,234	10,021
-3,488	7,033
-9,052	5,695

## Matriz (N)

295,324	-98,473
-98,473	182,324

## Matriz (U)

4,406E-13
-2,737E-13

## Vetor dos Parâmetros (X)

DX (m)	DY (m)
1,209E-15	-8,483E-16

## Vetor dos Resíduos (X)

-2,045E-14
-1,120E-14
-1,729E-14
4,107E-14

## Sigma a Posteriori

1,264E-27

## MVC Xa

5,222E-30	2,821E-30
2,821E-30	8,459E-30

## MVC La

1,025E-27	-2,325E-28	-2,272E-29	4,372E-28
-2,325E-28	7,493E-28	4,940E-28	2,966E-28
-2,272E-29	4,940E-28	3,436E-28	2,681E-28
4,372E-28	2,966E-28	2,681E-28	4,115E-28

#### MVC dos Resíduos

-2,398E-28	-2,325E-28	-2,272E-29	4,372E-28
-2,325E-28	-5,152E-28	4,940E-28	2,966E-28
-2,272E-29	4,940E-28	-9,209E-28	2,681E-28
4,372E-28	2,966E-28	2,681E-28	-8,530E-28

#### Coordenadas Ajustadas da Estação Ocupada

X = 100,000m      Y = 95,910m

#### TESTES ESTATÍSTICOS

##### Teste Global ou Qui-Quadrado

Hipótese H0 aceita a um nível de significância de 1%

Qui-Quadrado Calculado      Qui-Quadrado Tabelado

2,529E-27 < 10,6

##### Teste Data Snooping

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Hipótese aceita se  $|W| < 3,29$

Resíduo Normalizado (W)      Hipótese H0

-1,320	0
-0,493	0
-0,570	0
1,306	0

#### Teste Tau

##### Estatística Tau Tabelada

1,377

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro  
Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Estatística Tau      Hipótese H0

-1,320	0
-0,493	0
-0,570	0
1,306	0

IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3ÉPOCA: 1DATA: 26/09/2011

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

-----

Ponto: 00000001

Série 1: OK

Série 2: OK

Série 3: OK

-----

Ponto: 00000002

Série 1: OK

Série 2: OK

Série 3: OK

-----

CADERNETA DE CAMPO

-----

PONTO: 00000001Série: 1

-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
110°13´51"	290°13´49"	94°16´8"	265°44´22"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 110°13´49"

==> Ângulo Zenital: 94°15´53"

==> Distância: 5,098m

-----  
PONTO: 00000001 Série: 2  
-----

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

110°13'48" 290°13'50"

PD

PI

94°16'10" 265°44'21"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 110°13'49"

==> Ângulo Zenital: 94°15'54"

==> Distância: 5,098m

-----  
PONTO: 00000001 Série: 3  
-----

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

110°13'50" 290°13'47"

PD

PI

94°16'7" 265°44'20"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 110°13'48"

==> Ângulo Zenital: 94°15'53"

==> Distância: 5,098m

-----  
PONTO: 00000001  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP	Direção Horizontal	DP	Ângulo Zenital	DP
5,098	0,000	110°13'49"	0,7	94°15'53"	0,7"

-----  
PONTO: 00000002 Série: 1  
-----

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

127°59'46" 307°59'40"

PD

PI

94°52'47" 265°7'48"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 127°59'43"

==> Ângulo Zenital: 94°52'29"

==> Distância: 4,563m

-----  
PONTO: 00000002 Série: 2  
-----

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

127°59'42" 307°59'40"

PD

PI

94°52'43" 265°7'47"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 127°59'41"

==> Ângulo Zenital: 94°52'28"

==> Distância: 4,5625m

-----  
PONTO: 00000002 Série: 3  
-----

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

127°59'44" 307°59'40"

PD

PI

94°52'46" 265°7'48"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 127°59'42"

==> Ângulo Zenital: 94°52'29"

==> Distância: 4,563m

-----  
PONTO: 00000002  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP	Direção Horizontal	DP	Ângulo Zenital	DP
4,563	0,000	127°59'42"	1"	94°52'28"	1"

Ponto objeto: P1

Semi-eixo maior (a): 0.007m  
Semi-eixo menor (b): 0.003m  
Azimute da direção do semi-eixo maior: 20°47'44,6"

#### IRRADIAÇÃO

Ponto objeto: P2

Semi-eixo maior (a): 0.007m  
Semi-eixo menor (b): 0.001m  
Azimute da direção do semi-eixo maior: 37°59'42"

Total de Pontos Irrradiados : 2

#### COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS

Época	Ponto	X (m)	Y (m)
1	00000001	000104,784	000094,147
1	00000002	000103,596	000093,101

VARIAÇÃO DE COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS - Valores de Referência Época 1

Época	Ponto	DX (m)	DY (m)
-------	-------	--------	--------

#### PROPAGAÇÃO DE ERROS

#### MATRIZ VARIÂNCIA COVÂRIÂNCIA:

Ponto objeto: P1

$S_x^2$  :0.0000080121m2  
 $S_y^2$  :0.0000014095m2  
 $S_{xy}$  :-0.0000029302m2

Ponto objeto: P2

$S_x^2$  :0.0000056591m2  
 $S_y^2$  :0.0000034722m2  
 $S_{xy}$  :-0.00000443823m2

#### ELIPSE DE ERROS

ELEMENTOS - Nível de confiança de 95%

**ÉPOCA 2**

**RECESSÃO**

////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO RECESSÃO

////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 2      DATA: 26/09/2011

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

Ponto: 00000004  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000003  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000002  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

CADERNETA DE CAMPO

-----

PONTO: 00000004    Série: 1

-----

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

87°36'23"

267°36'14"

PD

PI

92°52'24"

267°8'4"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 87°36'18"

==> Ângulo Zenital: 92°52'10"

==> Distância: 5,676m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 2

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

87°36'20"

267°36'17"

PD

PI

92°52'21"

267°8'1"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 87°36'18"

==> Ângulo Zenital: 92°52'9"

==> Distância: 5,676m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 3

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

87°36'19"

267°36'18"

PD

PI

92°52'20"

267°8'7"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 87°36'18"

==> Ângulo Zenital: 92°52'6"

==> Distância: 5,676m

-----  
PONTO: 00000004

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
5,676	0,000
Direção Horizontal	DP
87°36'18"	0"
Ângulo Zenital	DP
92°52'8"	2,1"

PONTO: 00000003 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
73°35'43"	253°35'39"	89°42'19"	270°18'18"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 73°35'41"

==> Ângulo Zenital: 89°42'0"

==> Distância: 7,352m

PONTO: 00000003 Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
73°35'40"	253°35'41"	89°42'23"	270°18'20"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 73°35'40"

==> Ângulo Zenital: 89°42'1"

==> Distância: 7,352m

PONTO: 00000003 Série: 3

Direção Horizontal	Ângulo Zenital
--------------------	----------------

PD	PI	PD	PI
73°35'45"	253°35'40"	89°42'20"	270°18'19"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 73°35'42"

==> Ângulo Zenital: 89°42'0"

==> Distância: 7,352m

PONTO: 00000003

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
7,352	0,000
Direção Horizontal	DP
73°35'41"	1"
Ângulo Zenital	DP
89°42'0"	0,7"

PONTO: 00000002 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
42°39'13"	222°39'14"	89°25'18"	270°35'20"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 42°39'13"

==> Ângulo Zenital: 89°24'59"

==> Distância: 5,321m

PONTO: 00000002 Série: 2



Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
42°39'9"	222°39'13"	89°25'13"	270°35'22"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 42°39'10"

==> Ângulo Zenital: 89°24'55"

==> Distância: 5,321m

-----  
PONTO: 00000002 Série: 3  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
42°39'15"	222°39'11"	89°25'15"	270°35'22"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 42°39'13"

==> Ângulo Zenital: 89°24'56"

==> Distância: 5,321m

-----  
PONTO: 00000002  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
5,321	0,000
Direção Horizontal	DP
42°39'12"	1,7"
Ângulo Zenital	DP
89°24'57"	2,1"

-----  
PONTO: 00000001 Série: 1  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
10°24'20"	190°24'16"	88°51'45"	271°8'55"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 10°24'18"

==> Ângulo Zenital: 88°51'24"

==> Distância: 3,973m

-----  
PONTO: 00000001 Série: 2  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
10°24'16"	190°24'18"	88°51'40"	271°8'49"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 10°24'17"

==> Ângulo Zenital: 88°51'25"

==> Distância: 3,973m

-----  
PONTO: 00000001 Série: 3  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
10°24'21"	190°24'15"	88°51'41"	271°8'56"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 10°24'18"

==> Ângulo Zenital: 88°51'22"

==> Distância: 3,973m

-----  
PONTO: 00000001  
-----

## MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
3,973	0,000
Direção Horizontal	DP
10°24'17"	1"
Ângulo Zenital	DP
88°51'24"	1,6"

## DISTÂNCIAS ENTRE ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estações de Controle	Distâncias (m)
00000001 00000004	6,159
00000001 00000003	6,593
00000001 00000002	2,887
00000004 00000003	2,303
00000004 00000002	4,213
00000003 00000002	3,905

## COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estação de Controle	X (m)	Y (m)
1	100,000	100,000
4	105,447	97,124
3	106,538	99,152
2	102,853	100,444

## RECESSÃO

## Coordenadas da Estação Ocupada

X = 100,515m      Y = 95,352m

## AJUSTAMENTO

## Matriz das Derivadas Parciais (A)

-14,421    0,422  
-1,950    9,917  
-3,311    7,057  
-8,937    6,011

## Matriz (N)

302,589    -102,501  
-102,501    184,441

## Matriz (U)

-297,781  
243,538

## Vetor dos Parâmetros (X)

DX (m)      DY (m)  
-0,661      0,953

## Vetor dos Resíduos (X)

-0,466  
0,334  
-1,491  
1,232

## Sigma a Posteriori

2,035

## MVC Xa

0,008    0,005  
0,005    0,016

## MVC La

1,670	-0,372	-0,039	0,686
-0,372	1,190	0,790	0,493
-0,039	0,790	0,553	0,440
0,686	0,493	0,440	0,658

#### MVC dos Resíduos

-0,366	-0,372	-0,039	0,686
-0,372	-0,845	0,790	0,493
-0,039	0,790	-1,483	0,440
0,686	0,493	0,440	-1,377

#### Coordenadas Ajustadas da Estação Ocupada

X = 99,853m                      Y = 96,305m

### TESTES ESTATÍSTICOS

#### Teste Global ou Qui-Quadrado

Hipótese H0 aceita a um nível de significância de 1%

Qui-Quadrado Calculado              Qui-Quadrado Tabelado

4,071 < 10,6

#### Teste Data Snooping

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro  
Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Hipótese aceita se  $|W| < 3,29$

Resíduo Normalizado (W)              Hipótese H0

-0,771	0
0,363	0
-1,224	0
1,050	0

#### Teste Tau

Estatística Tau Tabelada

1,377

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro  
Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Estatística Tau                      Hipótese H0

-0,771	0
0,363	0
-1,224	0
1,050	0

IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3ÉPOCA: 2DATA: 26/09/2011

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000002  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

CADERNETA DE CAMPO

PONTO: 00000001Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
119°41'39"	299°41'30"	94°20'39"	265°39'54"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 119°41'34"

==> Ângulo Zenital: 94°20'22"

==> Distância: 5,005m

PONTO: 00000001 Série: 2

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

119°41'35"

299°41'31"

PD

PI

94°20'42"

265°39'50"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 119°41'33"

==> Ângulo Zenital: 94°20'25"

==> Distância: 5,005m

PONTO: 00000001 Série: 3

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

119°41'36"

299°41'34"

PD

PI

94°20'40"

265°39'50"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 119°41'35"

==> Ângulo Zenital: 94°20'24"

==> Distância: 5,005m

PONTO: 00000001

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP	Direção Horizontal	DP	Ângulo Zenital	DP
5,005	0,000	119°41'34"	1"	94°20'24"	1,6"

PONTO: 00000002 Série: 1

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

138°40'45"

318°40'40"

PD

PI

94°41'31"

265°19'12"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 138°40'42"

==> Ângulo Zenital: 94°41'9"

==> Distância: 4,927m

PONTO: 00000002 Série: 2

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

138°40'40"

318°40'46"

PD

PI

94°41'33"

265°19'10"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 138°40'43"

==> Ângulo Zenital: 94°41'11"

==> Distância: 4,927m

PONTO: 00000002 Série: 3

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

138°40'46"

318°40'41"

PD

PI

94°41'35"

265°19'17"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 138°40'43"

==> Ângulo Zenital: 94°41'9"

==> Distância: 4,927m

PONTO: 00000002

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP	Direção Horizontal	DP	Ângulo Zenital	DP
---------------	----	--------------------	----	----------------	----

4,927      0,002      138°40'43"      0,7"      94°41'10"      0"

#### IRRADIAÇÃO

Total de Pontos Irradiados : 2

#### COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS

Época	Ponto	X (m)	Y (m)
2	00000001	000104,508	000094,465
2	00000002	000103,597	000093,102

VARIAÇÃO DE COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS - Valores de Referência Época 1

Época	Ponto	DX (m)	DY (m)
2	00000001	0,275	-0,319
2	00000002	-0,001	-0,001

#### PROPAGAÇÃO DE ERROS

#### MATRIZ VARIÂNCIA COVÂRIÂNCIA:

Ponto objeto: P1

$Sx^2$  :0.0000065583m2  
 $Sy^2$  :0.0000025909m2  
 $Sxy$  :-0.0000040567m2

Ponto objeto: P2

$Sx^2$  :0.0000036407m2  
 $Sy^2$  :0.0000055052m2  
 $Sxy$  :-0.0000044186m2

#### ELIPSE DE ERROS

ELEMENTOS - Nível de confiança de 95%

Ponto objeto: P1

Semi-eixo maior (a): 0.007m  
Semi-eixo menor (b): 0.002m  
Azimute da direção do semi-eixo maior:31°58'15,6"

Ponto objeto: P2

Semi-eixo maior (a): 0.007m  
Semi-eixo menor (b): 0.001m  
Azimute da direção do semi-eixo maior: 140°57'24,6"

## APÊNDICE C

**RELATÓRIOS**

**MONITORAMENTO – 04/05/2012**



**ÉPOCA 1**

**RECESSÃO**

////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO RECESSÃO

////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 1      DATA: 04/05/2012

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

Ponto: 00000004  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000003  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000002  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

CADERNETA DE CAMPO

-----

PONTO: 00000004    Série: 1

-----

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD	PI	PD	PI
195°35'40"	15°35'41"	96°33'45"	263°26'20"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 195°35'40"

==> Ângulo Zenital: 96°33'42"

==> Distância: 3,69m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
195°35'45"	15°35'42"	96°33'43"	263°26'24"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 195°35'43"

==> Ângulo Zenital: 96°33'39"

==> Distância: 3,69m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 3

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
195°35'40"	15°35'41"	96°33'42"	263°26'22"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 195°35'40"

==> Ângulo Zenital: 96°33'39"

==> Distância: 3,69m

-----  
PONTO: 00000004

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
3,69	0,000
Direção Horizontal	DP
195°35'41"	1,7"
Ângulo Zenital	DP
96°33'40"	1,7"

PONTO: 00000003 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
189°43'0"	9°43'0"	89°17'39"	270°42'55"

Par Conjugado  
 ==> Direção Horizontal: 189°43'0"  
 ==> Ângulo Zenital: 89°17'22"  
 ==> Distância: 5,174m

PONTO: 00000003 Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
189°43'10"	9°43'3"	89°17'38"	270°42'58"

Par Conjugado  
 ==> Direção Horizontal: 189°43'6"  
 ==> Ângulo Zenital: 89°17'20"  
 ==> Distância: 5,174m

PONTO: 00000003 Série: 3

Direção Horizontal	Ângulo Zenital
--------------------	----------------

PD	PI	PD	PI
189°43'3"	9°43'1"	89°17'38"	270°42'56"

Par Conjugado  
 ==> Direção Horizontal: 189°43'2"  
 ==> Ângulo Zenital: 89°17'20"  
 ==> Distância: 5,174m

PONTO: 00000003

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
5,174	0,000
Direção Horizontal	DP
189°43'2"	3,2"
Ângulo Zenital	DP
89°17'21"	1,2"

PONTO: 00000002 Série: 1

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
143°37'13"	323°37'15"	88°26'8"	271°34'0"

Par Conjugado  
 ==> Direção Horizontal: 143°37'13"  
 ==> Ângulo Zenital: 88°26'4"  
 ==> Distância: 5,852m

PONTO: 00000002 Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
143°37´16"	323°37´15"	88°26´5"	271°34´1"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 143°37´15"			
==> Ângulo Zenital: 88°26´1"			
==> Distância: 5,852m			
-----			
PONTO: 00000002    Série: 3			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
143°37´14"	323°37´9"	88°26´6"	271°34´0"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 143°37´11"			
==> Ângulo Zenital: 88°26´3"			
==> Distância: 5,852m			
-----			
PONTO: 00000002			
-----			
MÉDIA E DESVIO-PADRÃO			
Distância (m)		DP	
5,852		0,000	
Direção Horizontal		DP	
143°37´13"		2"	
Ângulo Zenital		DP	
88°26´3"		1,6"	
-----			
PONTO: 00000001    Série: 1			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	

PD	PI	PD	PI
69°21'57"	249°21'58"	94°28'41"	265°31'14"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 69°21'57"			
==> Ângulo Zenital: 94°28'43"			
==> Distância: 3,327m			
-----			
PONTO: 00000001 Série: 2			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
69°22'1"	249°21'59"	94°28'52"	265°31'14"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 69°21'59"			
==> Ângulo Zenital: 94°28'48"			
==> Distância: 3,327m			
-----			
PONTO: 00000001 Série: 3			
-----			
Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
69°22'1"	249°21'58"	94°28'52"	265°31'15"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 69°21'59"			
==> Ângulo Zenital: 94°28'48"			
==> Distância: 3,327m			
-----			
PONTO: 00000001			
-----			
MÉDIA E DESVIO-PADRÃO			

Distância (m)	DP
3,327	0,000
Direção Horizontal	DP
69°21'58"	1,2"
Ângulo Zenital	DP
94°28'46"	2,5"

#### DISTÂNCIAS ENTRE ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estações de Controle	Distâncias (m)
00000001 00000004	6,230
00000001 00000003	7,423
00000001 00000002	5,890
00000004 00000003	1,572
00000004 00000002	4,609
00000003 00000002	4,360

#### COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estação de Controle	X (m)	Y (m)
1	100,000	100,000
4	95,910	95,300
3	96,023	93,732
2	100,366	94,121

#### RECESSÃO

#### Coordenadas da Estação Ocupada

X = 96,896m Y = 98,832m

#### AJUSTAMENTO

Matriz das Derivadas Parciais (A)

-6,087 16,166  
15,054 -4,202  
10,916 -1,869  
7,886 5,809

#### Matriz (N)

445,038 -136,259  
-136,259 316,243

#### Matriz (U)

-1,519E-11  
-1,135E-11

#### Vetor dos Parâmetros (X)

DX (m) DY (m)  
-5,198E-14 -5,829E-14

#### Vetor dos Resíduos (X)

-1,479E-14  
-5,441E-14  
5,314E-14  
1,890E-14

#### Sigma a Posteriori

3,180E-27

#### MVC Xa

8,232E-30 3,547E-30  
3,547E-30 1,159E-29

#### MVC La

2,635E-27 -5,874E-28 -2,308E-28 1,020E-27  
-5,874E-28 1,621E-27 1,181E-27 8,872E-28

-2,308E-28	1,181E-27	8,767E-28	7,555E-28
1,020E-27	8,872E-28	7,555E-28	1,228E-27

MVC dos Resíduos

-5,458E-28	-5,874E-28	-2,308E-28	1,020E-27
-5,874E-28	-1,559E-27	1,181E-27	8,872E-28
-2,308E-28	1,181E-27	-2,304E-27	7,555E-28
1,020E-27	8,872E-28	7,555E-28	-1,953E-27

Coordenadas Ajustadas da Estação Ocupada

X = 96,896m      Y = 98,831m

#### TESTES ESTATÍSTICOS

Teste Global ou Qui-Quadrado

Hipótese H0 aceita a um nível de significância de 1%

Qui-Quadrado Calculado      Qui-Quadrado Tabelado

6,361E-27 < 10,6

Teste Data Snooping

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Hipótese aceita se  $|W| < 3,29$

Resíduo Normalizado (W)      Hipótese H0

-0,633	0
-1,378	0
1,107	0
0,428	0

Teste Tau

Estatística Tau Tabelada

1,377

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Estatística Tau      Hipótese H0

-0,633	0
-1,378	0
1,107	0
0,428	0

## IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 1      DATA: 04/05/2012

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

-----

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

-----

Ponto: 00000002  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

-----

CADERNETA DE CAMPO

-----

PONTO: 00000002    Série: 1

-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
82°20'27"	262°20'26"	89°29'7"	270°31'12"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 82°20'26"

==> Ângulo Zenital: 89°28'57"

==> Distância: 4,429m

PONTO: 00000002 Série: 2

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

82°20'32" 262°20'29"

PD

PI

89°29'16" 270°31'27"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 82°20'30"

==> Ângulo Zenital: 89°28'54"

==> Distância: 4,429m

PONTO: 00000002 Série: 3

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

82°20'24" 262°20'28"

PD

PI

89°29'17" 270°31'14"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 82°20'26"

==> Ângulo Zenital: 89°29'1"

==> Distância: 4,429m

PONTO: 00000002

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP	Direção Horizontal	DP	Ângulo Zenital	DP
4,429	0,000	82°20'27"	2,3"	89°28'57"	3,5"

PONTO: 00000001 Série: 1

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

82°16'16" 262°16'8"

PD

PI

89°29'2" 270°31'6"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 82°16'12"

==> Ângulo Zenital: 89°28'58"

==> Distância: 4,429m

PONTO: 00000001 Série: 2

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

82°16'19" 262°16'9"

PD

PI

89°29'4" 270°31'11"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 82°16'13"

==> Ângulo Zenital: 89°28'56"

==> Distância: 4,429m

PONTO: 00000001 Série: 3

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD

PI

82°16'22" 262°16'11"

PD

PI

89°29'2" 270°31'8"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 82°16'16"

==> Ângulo Zenital: 89°28'57"

==> Distância: 4,429m

PONTO: 00000001

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP	Direção Horizontal	DP	Ângulo Zenital	DP
---------------	----	--------------------	----	----------------	----



4,429      0,000      82°16'14"      2,1"      89°28'57"      1"

-----

IRRADIAÇÃO

-----

Total de Pontos Irrradiados : 2

COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS

Época	Ponto	X (m)	Y (m)
1	00000001	000101,285	000099,427
1	00000002	000101,285	000099,422

VARIAÇÃO DE COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS - Valores de Referência Época 1

Época	Ponto	DX (m)	DY (m)
-------	-------	--------	--------

-----

PROPAGAÇÃO DE ERROS

-----

MATRIZ VARIÂNCIA COVÂRIÂNCIA:

Ponto objeto: P1

$Sx^2$  :0.0000089193m2  
 $Sy^2$  :0.0000002067m2  
 $Sxy$  :0.0000011937m2

Ponto objeto: P2

$Sx^2$  :0.0000089164m2  
 $Sy^2$  :0.0000002096m2  
 $Sxy$  :0.0000012044m2

-----

ELIPSE DE ERROS

-----

ELEMENTOS - Nível de confiança de 95%

Ponto objeto: P1

Semi-eixo maior (a): 0.006m  
Semi-eixo menor (b): 0.004m  
Azimute da direção do semi-eixo maior:172°20'16,1"

Ponto objeto: P2

Semi-eixo maior (a): 0.006m  
Semi-eixo menor (b): 0.004m  
Azimute da direção do semi-eixo maior: 172°16'03,1"

**ÉPOCA 2**

**RECESSÃO**

////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO RECESSÃO

////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 0      DATA: 04/05/2012

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

Ponto: 00000004  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000003  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000002  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

CADERNETA DE CAMPO

-----

PONTO: 00000004    Série: 1

-----

Direção Horizontal

Ângulo Zenital

PD	PI	PD	PI
197°12'17"	17°12'23"	97°40'8"	262°20'19"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 197°12'19"

==> Ângulo Zenital: 97°39'54"

==> Distância: 3,13m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 2

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
197°12'20"	17°12'19"	97°40'18"	262°20'22"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 197°12'19"

==> Ângulo Zenital: 97°39'57"

==> Distância: 3,13m

-----  
PONTO: 00000004    Série: 3

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
197°12'21"	17°12'20"	97°40'15"	262°20'23"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 197°12'20"

==> Ângulo Zenital: 97°39'56"

==> Distância: 3,13m

-----  
PONTO: 00000004

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
3,13	0,000
Direção Horizontal	DP
197°12'19"	0,7"
Ângulo Zenital	DP
97°39'56"	1,6"

-----  
PONTO: 00000003 Série: 1  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
189°19'36"	9°19'29"	89°9'23"	270°51'4"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 189°19'32"			
==> Ângulo Zenital: 89°9'9"			
==> Distância: 4,59m			

-----  
PONTO: 00000003 Série: 2  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
189°19'33"	9°19'29"	89°9'22"	270°50'59"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 189°19'31"			
==> Ângulo Zenital: 89°9'11"			
==> Distância: 4,59m			

-----  
PONTO: 00000003 Série: 3  
-----

Direção Horizontal	Ângulo Zenital
--------------------	----------------

PD	PI	PD	PI
189°19'33"	9°19'19"	89°9'22"	270°50'59"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 189°19'25"			
==> Ângulo Zenital: 89°9'11"			
==> Distância: 4,59m			

-----  
PONTO: 00000003  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO	
Distância (m)	DP
4,59	0,000
Direção Horizontal	DP
189°19'29"	3,8"
Ângulo Zenital	DP
89°9'10"	1,2"

-----  
PONTO: 00000002 Série: 1  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
137°54'52"	317°54'51"	88°15'18"	271°45'17"
Par Conjugado			
==> Direção Horizontal: 137°54'51"			
==> Ângulo Zenital: 88°15'0"			
==> Distância: 5,35m			

-----  
PONTO: 00000002 Série: 2  
-----

Direção Horizontal	Ângulo Zenital
--------------------	----------------

PD	PI	PD	PI
137°54'52"	317°54'46"	88°15'16"	271°45'23"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 137°54'48"

==> Ângulo Zenital: 88°14'56"

==> Distância: 5,35m

-----  
PONTO: 00000002 Série: 3  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
137°54'47"	317°54'53"	88°15'15"	271°45'19"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 137°54'49"

==> Ângulo Zenital: 88°14'58"

==> Distância: 5,35m

-----  
PONTO: 00000002  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO	
Distância (m)	DP
5,35	0,000
Direção Horizontal	DP
137°54'50"	1,7"
Ângulo Zenital	DP
88°14'58"	2,4"

-----  
PONTO: 00000001 Série: 1  
-----

Direção Horizontal	Ângulo Zenital
--------------------	----------------

PD	PI	PD	PI
57°34'23"	237°34'17"	94°9'8"	265°51'19"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 57°34'19"

==> Ângulo Zenital: 94°8'54"

==> Distância: 3,54m

-----  
PONTO: 00000001 Série: 2  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
57°34'26"	237°34'18"	94°9'10"	265°51'22"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 57°34'21"

==> Ângulo Zenital: 94°8'54"

==> Distância: 3,54m

-----  
PONTO: 00000001 Série: 3  
-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
57°34'20"	237°34'25"	94°9'4"	265°51'22"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 57°34'22"

==> Ângulo Zenital: 94°8'51"

==> Distância: 3,54m

-----  
PONTO: 00000001  
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO

Distância (m)	DP
3,54	0,000
Direção Horizontal	DP
57°34'21"	1,6"
Ângulo Zenital	DP
94°8'53"	1,7"

#### DISTÂNCIAS ENTRE ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estações de Controle	Distâncias (m)
00000001 00000004	6,230
00000001 00000003	7,423
00000001 00000002	5,890
00000004 00000003	1,572
00000004 00000002	4,609
00000003 00000002	4,360

#### COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estação de Controle	X (m)	Y (m)
1	100,000	100,000
4	95,910	95,300
3	96,023	93,732
2	100,366	94,121

#### RECESSÃO

#### Coordenadas da Estação Ocupada

X = 96,947m      Y = 98,228m

#### AJUSTAMENTO

Matriz das Derivadas Parciais (A)

-8,148	14,038
17,391	-6,158
12,228	-2,514
8,241	6,861

#### Matriz (N)

586,262	-195,675
-195,675	288,365

#### Matriz (U)

-0,228
-0,147

#### Vetor dos Parâmetros (X)

DX (m)	DY (m)
-0,0007	-0,001

#### Vetor dos Resíduos (X)

-0,005
-0,003
-0,003
0,006

#### Sigma a Posteriori

3,830E-5

#### MVC Xa

8,446E-8	5,731E-8
5,731E-8	1,717E-7

#### MVC La

2,633E-5	-9,945E-6	-3,464-6	1,429E-5
----------	-----------	----------	----------

-9,945E-6	1,978E-5	1,380E-5	8,780E-6
-3,464E-6	1,380E-5	1,019E-5	9,170E-6
1,429E-5	8,780E-6	9,170E-6	2,030E-5

#### MVC dos Resíduos

-1,19E-5	-9,947E-6	-3,464E-6	1,429E-5
-9,945E-6	-1,852E-5	1,380E-5	8,780E-6
-3,464E-6	1,3807E-5	-2,811E-5	9,170E-6
1,429E-5	8,780E-6	9,170E-6	-1,800E-5

#### Coordenadas Ajustadas da Estação Ocupada

X = 96,946m                      Y = 98,227m

#### TESTES ESTATÍSTICOS

##### Teste Global ou Qui-Quadrado

Hipótese H0 aceita a um nível de significância de 1%

Qui-Quadrado Calculado	Qui-Quadrado Tabelado
------------------------	-----------------------

7,660E-5 < 10,6

##### Teste Data Snooping

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Hipótese aceita se  $|W| < 3,29$

Resíduo Normalizado (W)	Hipótese H0
-------------------------	-------------

-1,372	0
-0,723	0
-0,565	0
1,312	0

##### Teste Tau

##### Estatística Tau Tabelada

1,377

Hipótese H0 = 0 ==> Hipótese Aceita - Observação sem Erro Grosseiro

Hipótese H0 = 1 ==> Hipótese Rejeitada

Estatística Tau	Hipótese H0
-----------------	-------------

-1,372	0
-0,723	0
-0,565	0
1,312	0

## IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////

SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO (SAM)

RELATÓRIO IRRADIAÇÃO

////////////////////////////////////

OBRA: MONITORAMENTO GEODÉSICO

OPERADOR: FABIANI

INSTRUMENTO: TC 403L

NÚMERO DE SÉRIES: 3      ÉPOCA: 1      DATA: 04/05/2012

-----

VERIFICAÇÃO DOS PARES CONJUGADOS

-----

Ponto: 00000001  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

-----

Ponto: 00000002  
Série 1: OK  
Série 2: OK  
Série 3: OK

-----

PONTO: 00000002    Série: 1

-----

Direção Horizontal		Ângulo Zenital	
PD	PI	PD	PI
72°18'46"	252°18'41"	89°26'54"	270°33'33"

Par Conjugado

==> Direção Horizontal: 72°18'43"

==> Ângulo Zenital: 89°26'40"

==> Distância: 4,503m

-----

PONTO: 00000002    Série: 2



```

-----
Direção Horizontal      Ângulo Zenital
PD      PI      PD      PI
72°18'47"      252°18'46"      89°27'2"      270°33'37"

Par Conjugado
==> Direção Horizontal: 72°18'46"
==> Ângulo Zenital: 89°26'42"
==> Distância: 4,503m

-----
PONTO: 00000002 Série: 3
-----

Direção Horizontal      Ângulo Zenital
PD      PI      PD      PI
72°18'49"      252°18'32"      89°27'2"      270°33'31"

Par Conjugado
==> Direção Horizontal: 72°18'40"
==> Ângulo Zenital: 89°26'45"
==> Distância: 4,503m

-----
PONTO: 00000002
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO
Distância (m)  DP  Direção Horizontal  DP  Ângulo Zenital  DP
4,503      0,000      72°18'43"      3"      89°26'42"      2,5"

-----

PONTO: 00000001 Série: 1
-----

Direção Horizontal      Ângulo Zenital
PD      PI      PD      PI
72°15'0"      252°14'51"      89°26'54"      270°33'33"

```

```

Par Conjugado
==> Direção Horizontal: 72°14'55"
==> Ângulo Zenital: 89°26'40"
==> Distância: 4,504m

```

```

-----
PONTO: 00000001 Série: 2
-----

Direção Horizontal      Ângulo Zenital
PD      PI      PD      PI
72°15'6"      252°14'55"      89°27'1"      270°33'33"

```

```

Par Conjugado
==> Direção Horizontal: 72°15'0"
==> Ângulo Zenital: 89°26'44"
==> Distância: 4,504m

```

```

-----
PONTO: 00000001 Série: 3
-----

Direção Horizontal      Ângulo Zenital
PD      PI      PD      PI
72°14'59"      252°14'52"      89°26'57"      270°33'37"

```

```

Par Conjugado
==> Direção Horizontal: 72°14'55"
==> Ângulo Zenital: 89°26'39"
==> Distância: 4,504m

```

```

-----
PONTO: 00000001
-----

MÉDIA E DESVIO-PADRÃO
Distância (m)  DP  Direção Horizontal  DP  Ângulo Zenital  DP
4,504      0,000      72°14'57"      2,9"      89°26'41"      2,6"

```

IRRADIAÇÃO

Total de Pontos Irrradiados : 2

COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS

Época	Ponto	X (m)	Y (m)
2	00000001	000101,287	000099,428
2	00000002	000101,287	000099,423

VARIAÇÃO DE COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS - Valores de Referência Época 1

Época	Ponto	DX (m)	DY (m)
2	00000001	0,002	0,001
2	00000002	0,002	0,001

PROPAGAÇÃO DE ERROS

MATRIZ VARIÂNCIA COVÂRIÂNCIA:

Ponto objeto: P1

$Sx^2$  :0.0000084444m2  
 $Sy^2$  :0.0000006845m2  
 $Sxy$  :0.0000023125m2

Ponto objeto: P2

$Sx^2$  :0.0000084393m2  
 $Sy^2$  :0.0000006896m2  
 $Sxy$  :0.0000023210m2

ELIPSE DE ERROS

ELEMENTOS - Nível de confiança de 95%

Ponto objeto: P1

Semi-eixo maior (a): 0.006m  
Semi-eixo menor (b): 0.004m  
Azimute da direção do semi-eixo maior: 164°36'07,68"

Ponto objeto: P2

Semi-eixo maior (a): 0.006m  
Semi-eixo menor (b): 0.004m  
Azimute da direção do semi-eixo maior: 164°32'21,6"